

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA



Ingeniería Técnica Industrial: Mecánica

**"Modelado y simulación de un triciclo
articulado en Solid Works"**

AUTOR: Miguel García Flores

DIRECTOR: D. José Germán Pérez Alonso

TUTOR: Dr. D. Juan Carlos García Prada

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El triciclo es un vehículo de transporte individual, que, gracias a su nivel de emisiones, reducido tamaño y manejabilidad se puede convertir en una alternativa excelente a la hora de desplazarse por las ciudades.

Este proyecto surgió como una propuesta de realizar un triciclo innovador para el rodaje de una película. Las premisas que se nos dieron fueron las siguientes:

1. El piloto tenía que estar en una postura cómoda y erguida.
2. El diseño debía ser lo más liviano posible ya que iba a ser impulsado principalmente por el ocupante.
3. Se dispondría de un pequeño motor a modo de asistencia para usarlo en grandes pendientes en combinación con la fuerza motriz del ocupante.
4. El triciclo tendría capacidad de bascular en las curvas como una bicicleta convencional.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este Proyecto Final de Carrera es diseñar, modelar y simular un modelo utilizando el programa *Solid Works*.

El modelo es un triciclo dispuesto de un cuadrilátero articulado, tiene que reflejar fielmente los efectos producidos al aplicar fuerzas en condiciones reales de funcionamiento, y obtener a través de la simulación del modelo datos coherentes que puedan impulsar, en un futuro, su fabricación.

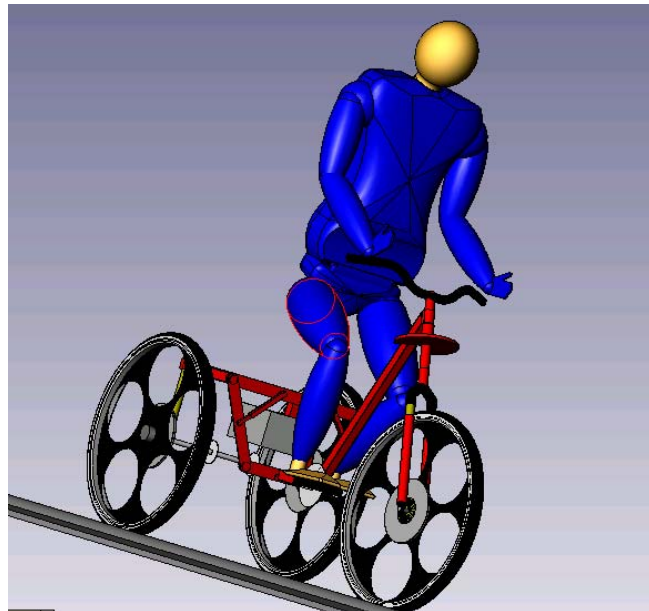


Figura 1.1. Triciclo

1.3 - ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto comienza con la Introducción, en la que se señalan los motivos que han llevado a la realización del mismo, seguida de los objetivos planteados.

En el capítulo 2 podemos encontrar otros ejemplos contemporáneos de vehículos de tres ruedas.

En el capítulo 3 se hace una revisión de los sistemas del triciclo y se desarrollan aspectos teóricos fundamentales necesarios para comprender el modelo planteado.

En el capítulo 4 se explica el modelo construido en el programa *Solid Works* y se presentan todas las piezas modeladas, así como el subensamblaje al que pertenecen.

En el capítulo 5 se desarrollan los aspectos teóricos de los principales efectos sobre el triciclo así como las consideraciones necesarias para entender las simulaciones realizadas con el programa *Cosmos Motion* y la definición de los parámetros utilizados.

El capítulo 6 está dedicado a analizar los resultados obtenidos.

El capítulo 7 muestra las conclusiones alcanzadas y los desarrollos futuros propuestos.

El capítulo 8 muestra el presupuesto elaborado.

El último capítulo está dedicado al conjunto de referencias bibliográficas empleadas.

CAPÍTULO 2

OTROS VEHÍCULOS DE TRES RUEDAS

Gilera Fuoco 500 i.e.

Dispone dos ruedas delanteras dotadas de una suspensión de cuadrilátero articulado. Una revolución técnica cuyo resultado es una adherencia y un agarre perfectos en cualquier tipo de condición, además de una estabilidad y una potencia de frenado que no se hallan al alcance de los scooters tradicionales.



La innovadora suspensión delantera de cuadrilátero articulado, cuyo mecanismo de balanceo está formado por cuatro ejes de aluminio fundido unidos a las correspondientes bisagras articuladas al eje central, y por dos ejes laterales unidos a los brazos mediante pivotes y rodamientos de bolas, permite que la conducción de la Gilera Fuoco 500 i.e. sea la misma que la de un vehículo de dos ruedas, pero con toda la solidez y la seguridad que sólo puede garantizar la doble rueda delantera.

Figura 2.1. Gilera Fuoco 500 i.e.

Can – am Spyder

Con este nuevo vehículo BRP reinventaba el concepto de roadster, ofreciendo las sensaciones de una moto con la seguridad de un coche. Diseñado y fabricado por BRP-Rotax, el Spyder cuenta con una exclusiva estructura en Y que se puede describir como mitad motocicleta y mitad deportivo cabrio.



Figura 2 .2. Can - am spyder delante



Figura 2.3. Can - am spyder detrás

Volkswagen GX3

se trata de un vehículo de tres ruedas firmado por Volkswagen. Un concepto muy particular que aúna la ligereza de una moto con un motor digno de un compacto medio. Según asegura VW, el diseño del vehículo tomó como referencia el minimalismo impuesto en el diseño de las motos de competición de la categoría de MotoGP y de los monoplazas de la Fórmula 1.



Figura 2.4. Volkswagen GX3

Carver ONE

Es el primer vehículo de tres ruedas y asientos gemelos que combina la agilidad emocionante de una motocicleta con la comodidad y la seguridad de un auto. Dispone de un sistema que ajusta automáticamente el ángulo de la inclinación de la velocidad y la aceleración para asegurar su equilibrio.



Figura 2.5. Carver ONE delante

Dispone de dispositivos como sensores de viento (balancea automáticamente la cabina para encontrar la posición aerodinámica ideal), sensores de inclinación y un giróscopo.



Figura 2.6. Carver ONE detrás

CAPÍTULO 3.

EL TRICICLO

Todas las piezas de las que está compuesto el triciclo, (menos chasis), son piezas que se encuentran en el mercado actualmente para ahorrar el trabajo en la fabricación de piezas en la medida de lo posible. Bien es cierto que algunas piezas, como el amortiguador, deberán de ser debidamente modificadas para ajustarse al triciclo.

3. EL BASTIDOR

El Triciclo está formado por un conjunto de mecanismos, cada uno con una función concreta. Se podría simplificar y reducirlos a dos: El motor y el bastidor. Si se engloba de esta manera todo el conjunto, el bastidor estará formado por todo aquello que no sea el motor: chasis, suspensiones, ruedas, frenos, y elementos accesorios.

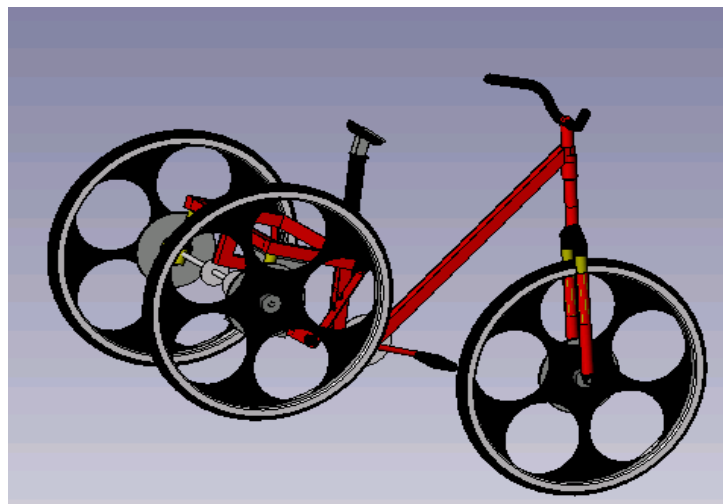


Figura 3.1. Bastidor

3.1 - EL CHASIS

La función del chasis es servir de apoyo y sujeción al resto de los elementos que forman la motocicleta. Por una parte, sujetar el motor, y por otra, las ruedas, suspensiones y a los propios ocupantes. El chasis se ha formado a base de barras metálicas entre las que se ha instalado el motor.

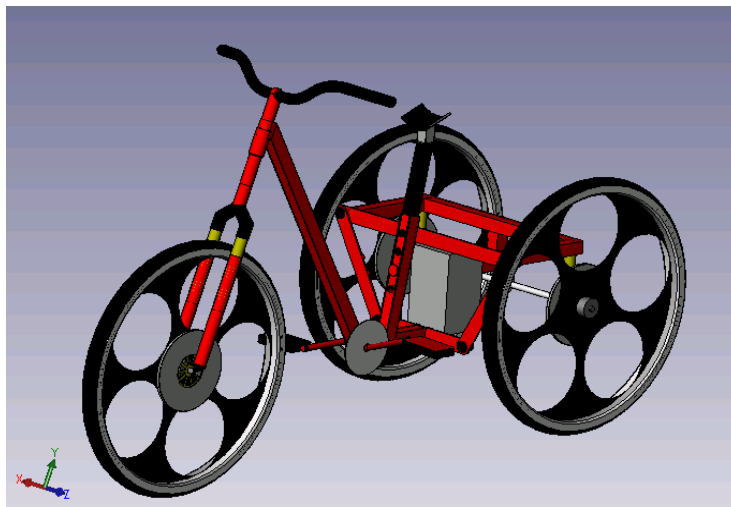


Figura 3.2. Chasis del triciclo

El chasis del triciclo se puede dividir en dos partes. La zona anterior, similar a la de cualquier bicicleta convencional, y la zona posterior, que es realmente la zona más interesante para el proyecto, al disponer de un *cuadrilátero articulado* que permite que el tren delantero bascule.

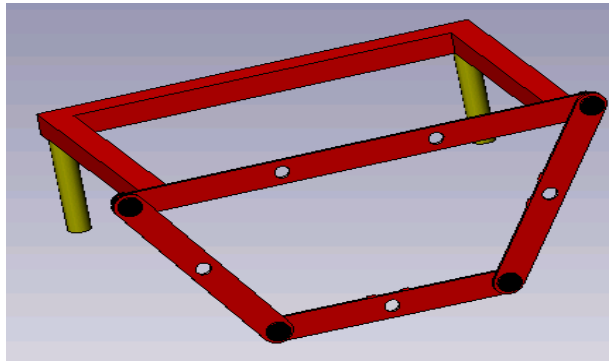


Figura 3.3. Cuadrilátero articulado

3.1.1 Breve descripción de los mecanismos de cuatro barras.

- **Clasificación**

Dependiendo de si alguno de sus elementos puede realizar una rotación completa se pueden clasificar en dos categorías:

CLASE I: Al menos una de las barras es capaz de realizar una rotación completa.

CLASE II: Ninguna de las barras del mecanismo puede realizar una rotación completa.

El **teorema de Grashof** nos proporciona un medio para averiguar la clase a la que pertenece un mecanismo articulado de cuatro barras, con sólo conocer sus dimensiones y disposición. Si un cuadrilátero no cumple dicho teorema pertenece a la clase II.

Definición del teorema de Grashof: “En un cuadrilátero articulado, al menos una de las barras actuará como manivela (será capaz de realizar una rotación

completa), en alguna de las disposiciones posibles, si se verifica que la suma de las longitudes de las barras mayor y menor es igual o menor a la suma de las longitudes de las otras dos”

En un cuadrilátero articulado que cumple con Grashof distinguimos:

- A. Si el soporte del mecanismo es la barra menor, las dos barras contiguas a él, actúan de manivelas.

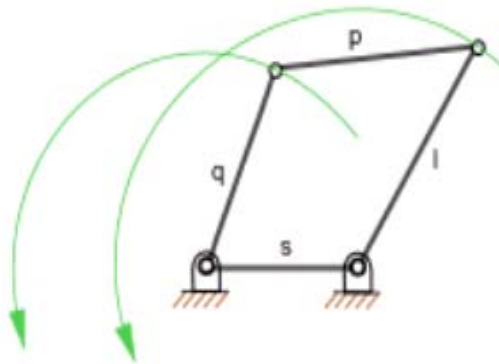


Figura 3.4. Mecanismo doble manivela

- B. Si el soporte del mecanismo es una de las barras contiguas a la menor, la barra menor actúa de manivela y su opuesta de balancín.

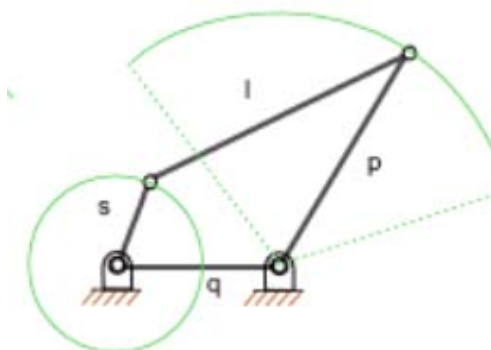


Figura 3.5. Mecanismo biela- balancín

- C. Cuando un mecanismo no cumple las condiciones anteriores, (que es el caso que nos ocupa), las dos barras que giran respecto a dicho soporte se comportan como balancines.

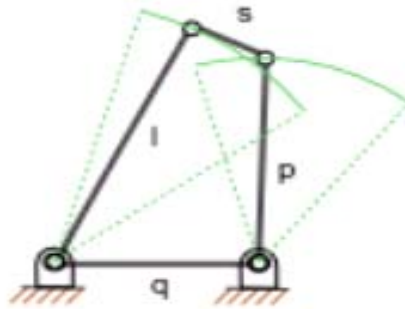


Figura 3.6. Mecanismo doble balancín

- D. Paralelogramo articulado: Mecanismo donde cada barra es igual a su opuesta, (la barra soporte e igual a la biela y la barra conductora es igual a la barra conducida). En este tipo de mecanismos las dos barras contiguas al soporte son manivelas (mecanismos de doble-manivela)

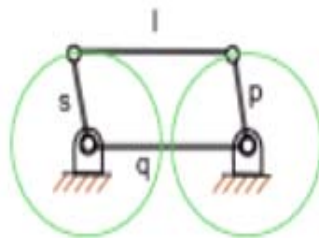


Figura 3.7. Paralelogramo articulado

3.2 – RUEDAS

- Neumáticos

- Los neumáticos elegidos son unos “Kenda Kintion Dirt Jump” en medidas de 26”, que es un diámetro típico en bicicletas de carretera. Este neumático ha sido escogido por sus características especiales ya que es un neumático muy resistente al pinchazo con carcasa reforzada. Es un neumático especial para carretera pero muy polivalente. Dispone de muy poco rozamiento en la banda central, buen agarre lateral, y gracias a su dura carcasa no se produce deformación lateral al tumbar, pero al mismo tiempo consigue una gran superficie de frenado.



Figura 3.8. Neumático Kenda Kintion Dirt Jump

- Llanta
 - Se han escogido unas llantas shimano WH-M505 en medidas también de 26", realizadas en aluminio y con un peso de 2,1kg cada una.



Figura 3.9. llantas shimano WH-M505

3.3 – LAS SUSPENSIONES

- Son un elemento indispensable para este tipo de vehículos si queremos circular con cierta comodidad y seguridad, ya que se encargarán de absorber todas las imperfecciones e irregularidades

- Horquilla
 - Se encarga de la suspensión de la rueda delantera. Es uno de los elementos más caros del triciclo, pero gracias a ella obtendremos un mayor control y precisión sobre la dirección del triciclo. Para nuestro caso se ha confiado en una horquilla “Suntou Duro FR20”, con capacidad para regular la precarga del muelle.
 - Dicha regulación se hace mediante unas ruedas en la parte superior de la botella y permite actuar sobre su comportamiento en función de la carga del triciclo. Por ejemplo en el caso de que el triciclo soporte una carga pesada, se deberá de aumentar la precarga del muelle endureciéndolo e impidiendo que la suspensión haga tope a menudo, lo que acabaría dañando la horquilla.



Figura 3.10. Horquilla Suntou Duro FR20

- Para la suspensión trasera se han elegido unos amortiguadores regulables Epicon RS9. Este amortiguador deberá de ser debidamente ajustado para situarse en la parte trasera del triciclo.



Figura 3.11. Amortiguador Epicon RS9

3.4 – LOS FRENOS

- En este caso en vez de recurrir a piezas provenientes de bicicletas se ha optado por usar un equipo de frenos de un Scooter de 50 c.c. Esto es debido al mayor peso del conjunto, (Hay que recordar que dispone de un pequeño motor en la parte trasera que incrementa sensiblemente el peso), que provoca en consecuencia un aumento de su energía cinética.

- Los discos de freno provienen del scooter Aprilia rally LC, son unos “AP11FID”. Son ligeros, (tan sólo 90grs), y perforados para aumentar la refrigeración.



Figura 3.12. Disco de freno AP11FID.

- Las Pastillas de freno
 - Proviene del mismo Scooter de Aprilia, son unas “Braking 761sm1”



Figura 3.13. Pastillas de freno Braking 761sm1

3.5 - LA TRANSMISIÓN

- Aunque se dispondrá de dos tipos de propulsión, tanto la transmisión de los pedales a la las ruedas traseras como la transmisión del motor a las ruedas traseras, se realizarán mediante cadena.
- La Cadena
 - La cadena es una “KMC z51s “ realizada en níquel acero con más de 1050 kgf de resistencia a tracción . Su duración está garantizada para más de 2000km.



Figura 3.14. cadena KMC z51s

3.5.1. - El Cambio de Marchas

- Mediante éste dispositivo es posible obtener diversas velocidades angulares de giro del eje secundario, (ruedas traseras), para una misma del primario, (ruedas delanteras), o lo que es lo mismo, distintos pares de salida para un mismo par de entrada. En definitiva el cambio nos permitirá pedalear con un menor esfuerzo, o bien desarrollar una mayor velocidad. En este caso resulta especialmente indispensable debido al sobrepeso del que contamos si lo comparamos con una bicicleta convencional.
- El cambio es un “Shimano RD M410 Alivio moderno”, realizado en aluminio y con un peso de tan sólo 230grs.



Figura 3.15. Cambio Shimano RD M410 Alivio moderno

- El desviador
 - Se encarga de situar la cadena sobre el piñón correcto, es un "Shimano FDM601M6 Reford". Está reforzado con una aleación acero/cromo muy resistente al desgaste y con un peso de 170 grs.



Figura 3.16.Desviador Shimano FDM601M6 Reford

- Platos.

Se encargan de la transmisión del movimiento, a través de la cadena, hasta los piñones situados en las ruedas traseras. El juego, que consta de tres platos, es un "Shimano FCM-532"



Figura 3.17. Juego de platos Shimano FCM-532

- Piñones

Giran solidarios con las ruedas traseras, el juego de piñones consta de 8 en total, teniendo la posibilidad de escoger entre 24 velocidades distintas

$$3\text{Platos} \times 8\text{Piñones} = 24 \text{ velocidades}$$

Se han elegido unos “Shimano CSHG 4081132PA”



Figura 3.18. Shimano CSHG 4081132PA.

3.6. ELEMENTOS ACCESORIOS

- Manillar

El manillar escogido es un “BRIO D51” fabricado en aluminio.



Figura 3.19. Manillar BRIO D51

- Sillín

Por su ligereza y comodidad se utilizara un sillín “Selle Italia SLR XC” de 175 gr.



Figura 3.20 Selle Italia SLR XC

- Pedales

Los pedales que se usarán son unos “VP-567 “. A pesar de ser compactos, (114X97), ofrecen un buen agarre y su precio es reducido.



Figura 3.21. pedales VP-567

CAPÍTULO 4

MODELADO

4.1. – MODELADO DEL TRICICLO

El modelo que se va a emplear para la realización de las simulaciones esta realizado con el programa *Solid Works 2007*.

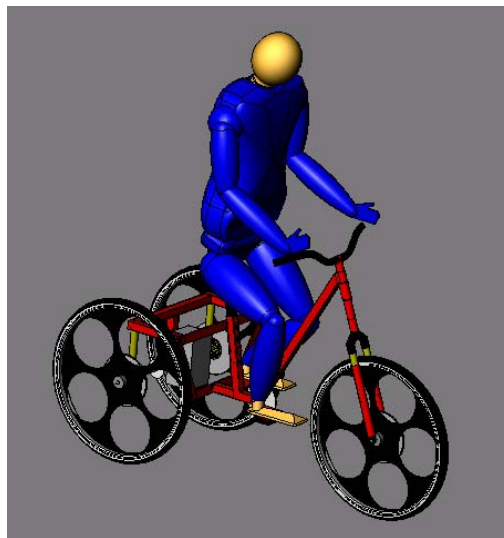


Figura 4.1. Triciclo articulado

Para el ensamblaje del triciclo, se realizó el modelado de cada una de las piezas principales para luego montarlas en subensamblajes. Dichos subensamblajes conforman el modelo del triciclo. A la hora de modelar se tuvo en cuenta elementos accesorios y elementos de unión para obtener así un peso del modelo similar al real. También se aplicó unas propiedades y una densidad similar a la real a cada elemento para que los resultados de la simulación fueran veraces. El motor se ha simulado como un bloque situado en la parte trasera de 10 kg de peso.

A continuación se muestran los distintos subensamblajes y las piezas que conforman dichos subensamblajes:

- SUBENSAMBLAJE RUEDA FRENO

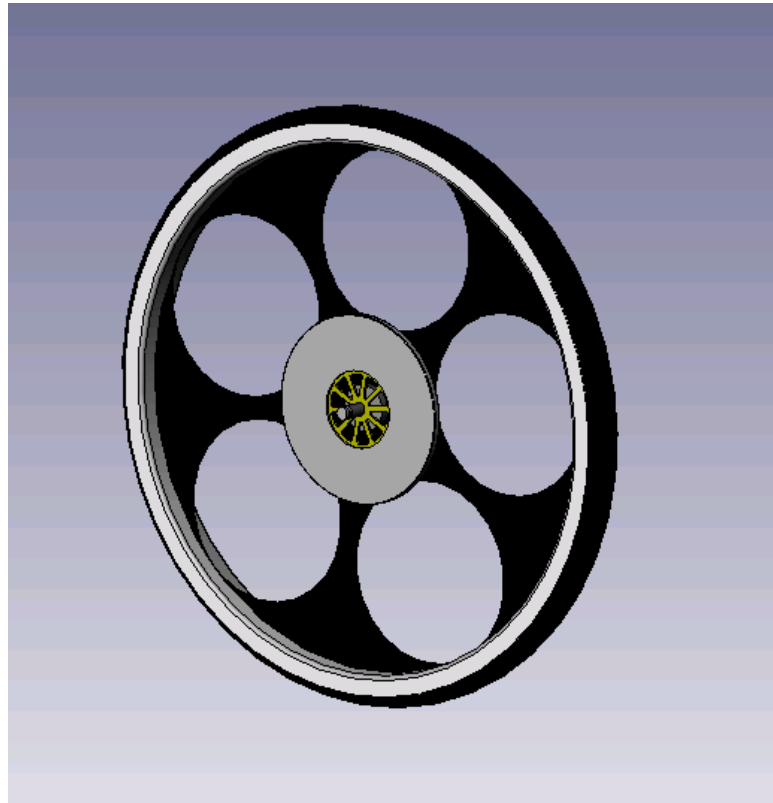


Figura 4.2. Subensamblaje rueda freno

Este ensamblaje está compuesto por distintas piezas; La llanta, el buje, el neumático y el disco de freno que se muestran a continuación.

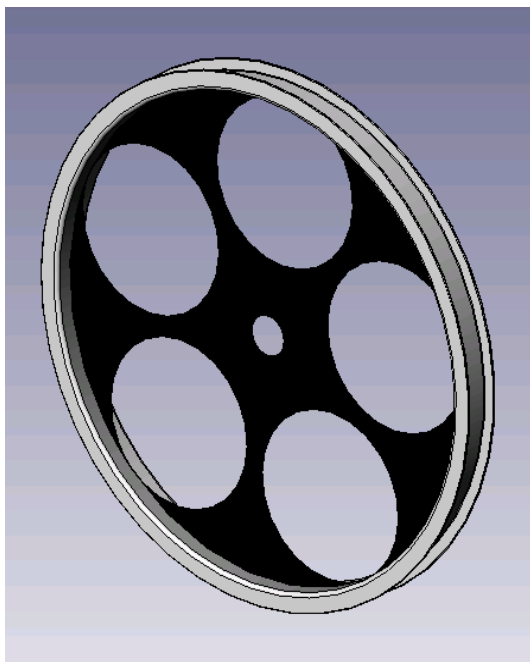


Figura 4.3. Llanta

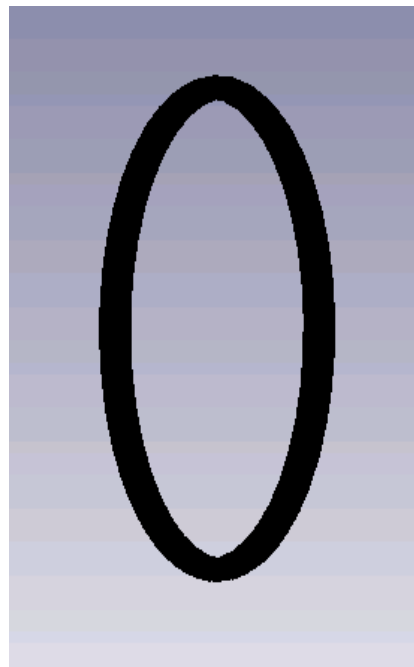


Figura 4.4. Neumático

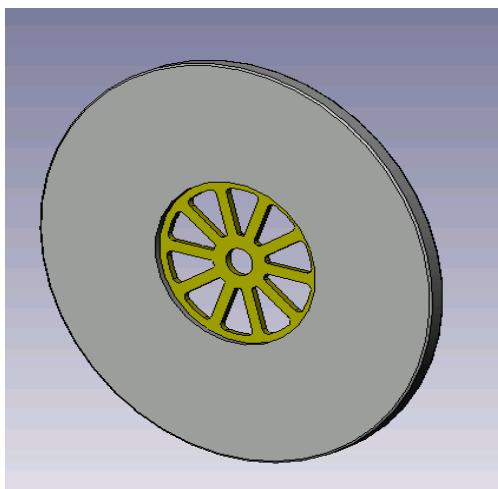


Figura 4.5. Disco de freno

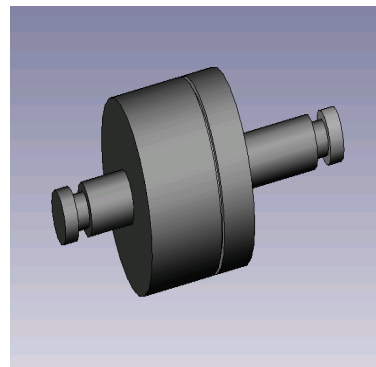


Figura 4.6. Buje delantero

- SUBENSAMBLAJE PARTE ANTERIOR

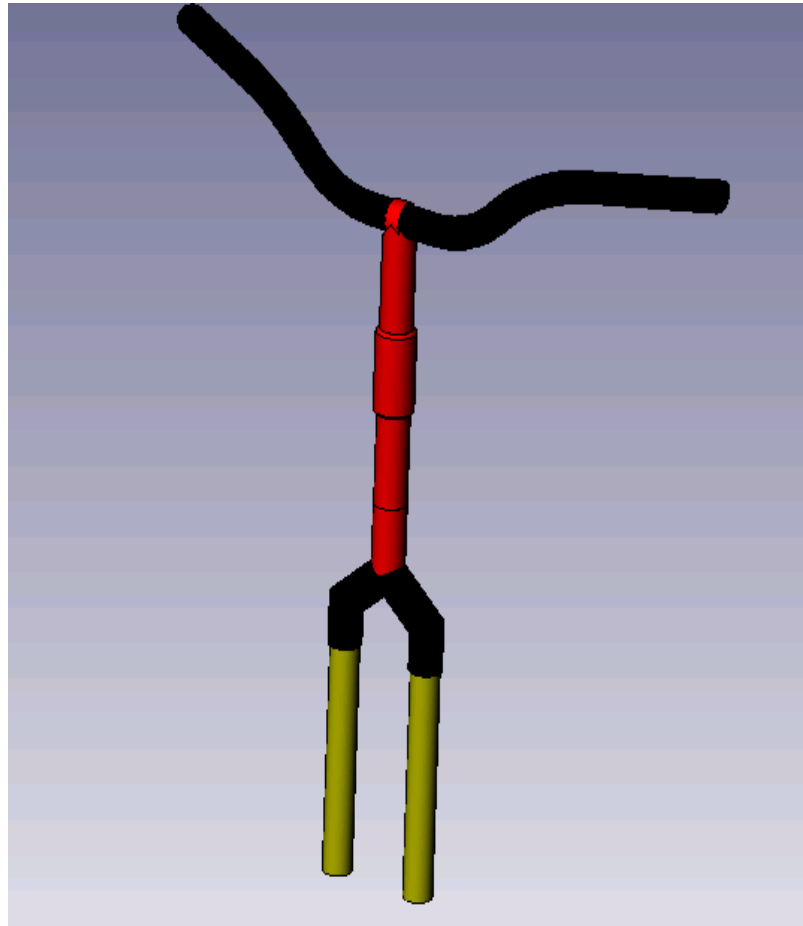


Figura 4.7. Subensamblaje zona anterior

La parte anterior está compuesta a su vez por el manillar, barra de manillar (sirve de nexo entre el manillar y la horquilla), y la zona superior de la horquilla.

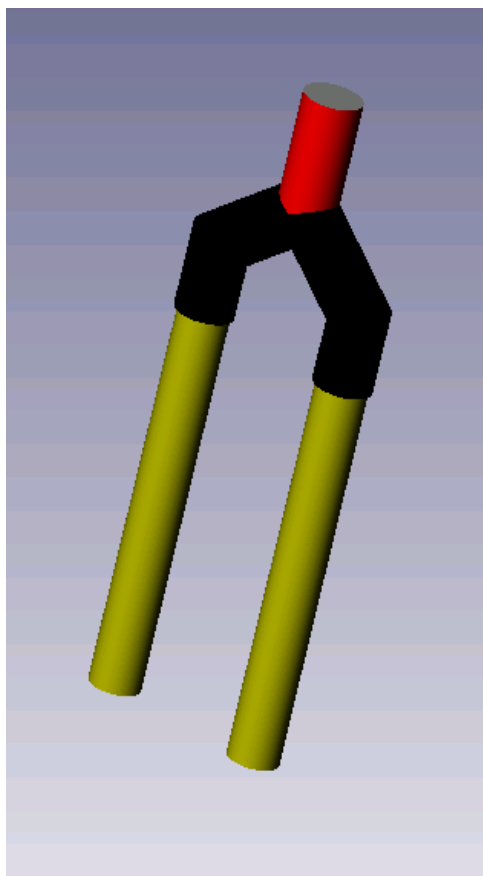


Figura 4.8. Horquilla sup.

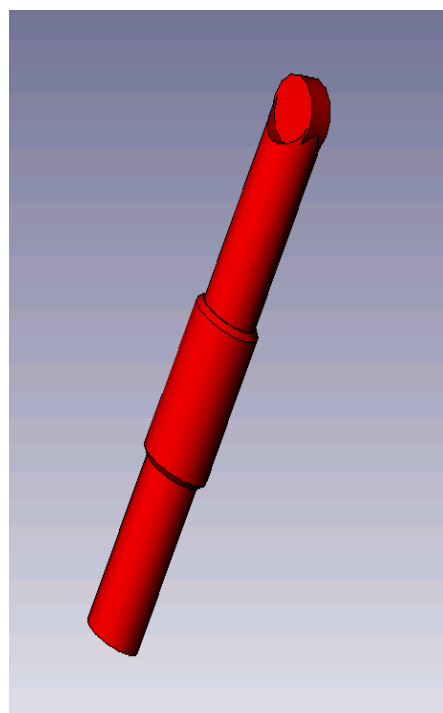


Figura 4.9. Barra manillar

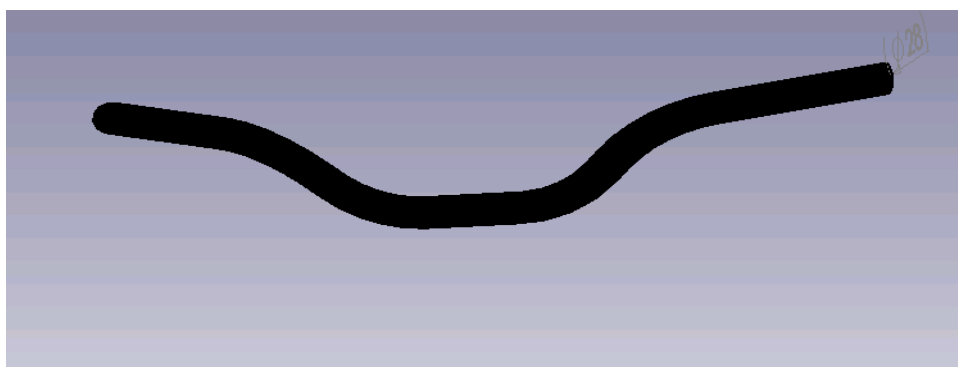


Figura 4.10. Manillar

- SUBENSAMBLAJE ZONA INTERMEDIA

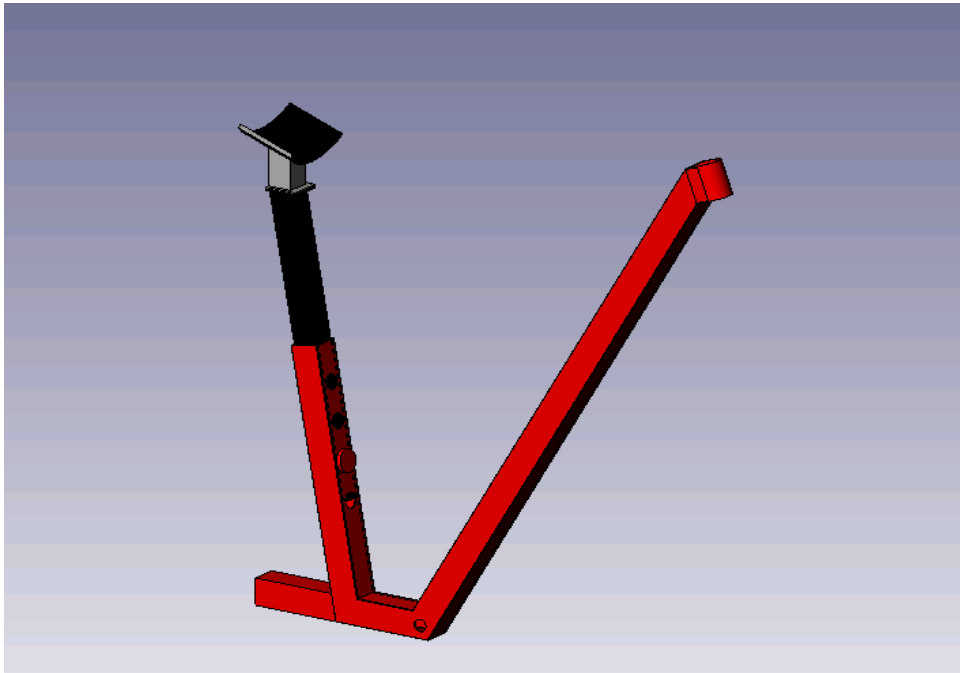


Figura 4.11. Subensamblaje zona intermedia

El subensamblaje esta compuesto por el sillín, que ha sido rediseñado para ajustarse al piloto, la zona anterior del chasis, el soporte del sillín, el tornillo del sillín y el soporte del manillar.

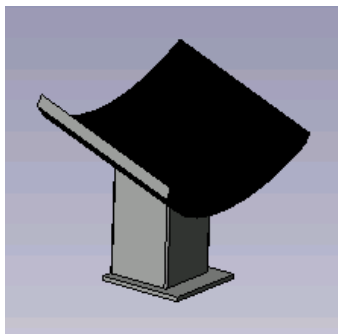


Figura 4.12. Sillín

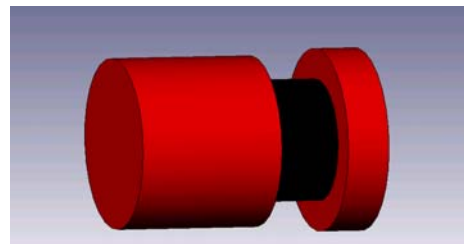


Figura 4.13. Tornillo Sillín

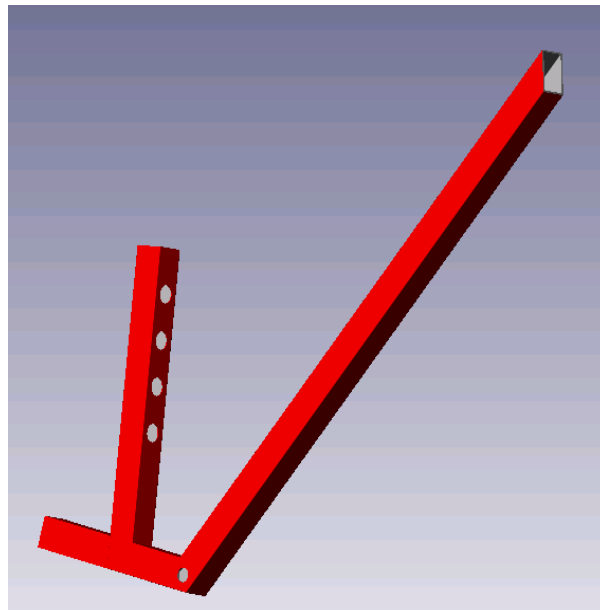


Figura 4.14. Chasis

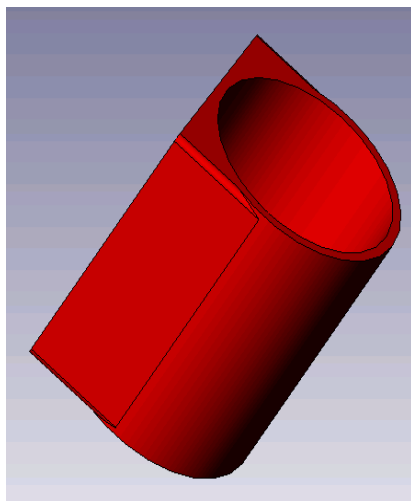


Figura 4.15. Soporte manillar

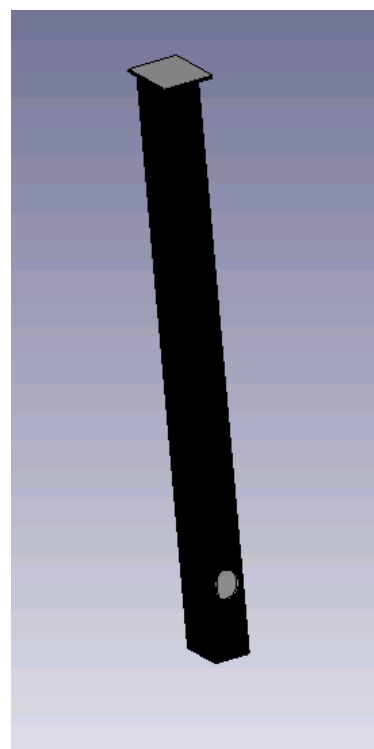


Figura 4.16. Soporte sillín

- SUBENSAMBLAJE ZONA POSTERIOR

En este subensamblaje nos encontramos con la parte posterior del chasis, que albergará el motor y se sustentará en las ruedas traseras, y el cuadrilátero articulado que se une al chasis en su zona inferior. El cuadrilátero está compuesto por tres barras móviles del mismo tamaño y por una barra fija de mayor tamaño.

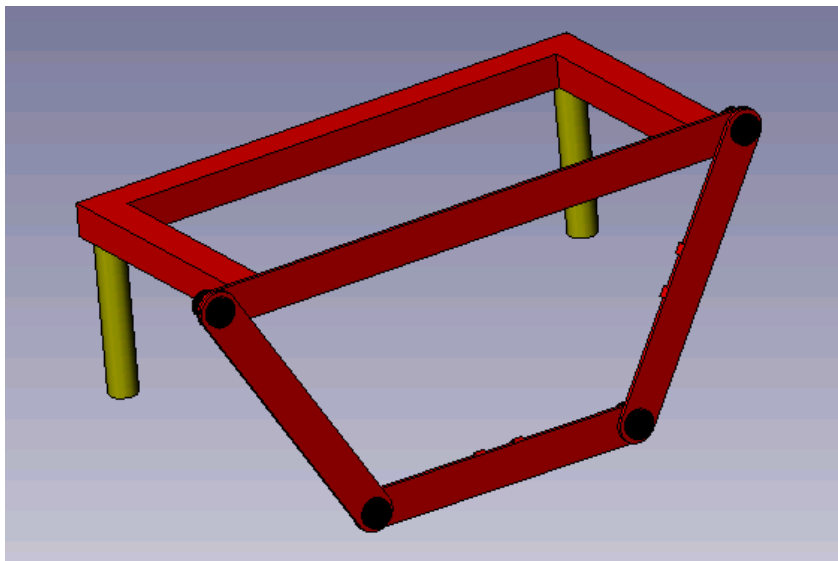


Figura 4.17. Zona posterior del chasis+ cuadrilátero articulado

El conjunto esta formado por tres piezas diferentes, las barras móviles, (de igual longitud), el tornillo de unión y el chasis que sujeta el motor.

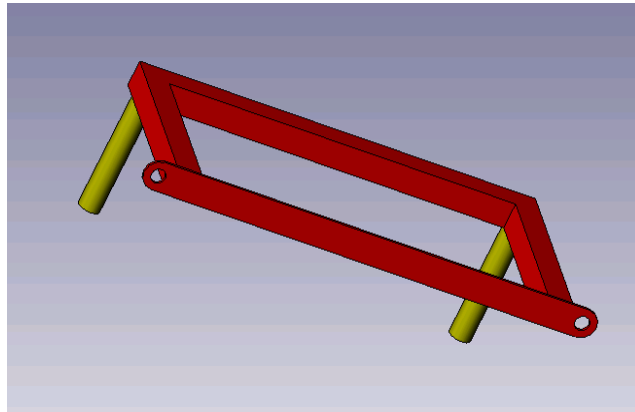


Figura 4.18. Vista de la zona posterior del chasis

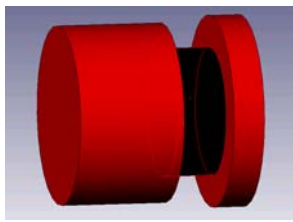


Figura 4.19. Tornillo unión

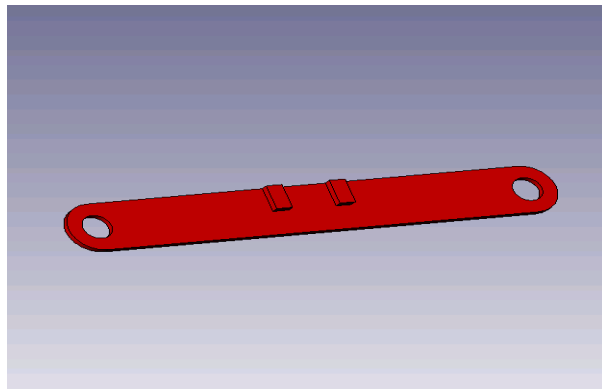


Figura 4.20. Barra de cuadrilátero articulado

- SUBENSAMBLAJE RUEDAS TRASERAS

Es el conjunto en el que se apoya la zona posterior del triciclo, las dos ruedas están unidas mediante un eje rígido. No se ha considerado montar un diferencial por el excesivo peso del conjunto. Sin embargo si se ha modelado dos ruedas simulando los piñones. Se han dispuesto dos ya que la tracción será mixta, (un piñon para la cadena que viene de los pedales, y otro para la cadena que viene del motor). Los bujes de las ruedas traseras no son iguales que los de las ruedas delanteras debido al especial diseño de la zona inferior del chasis.

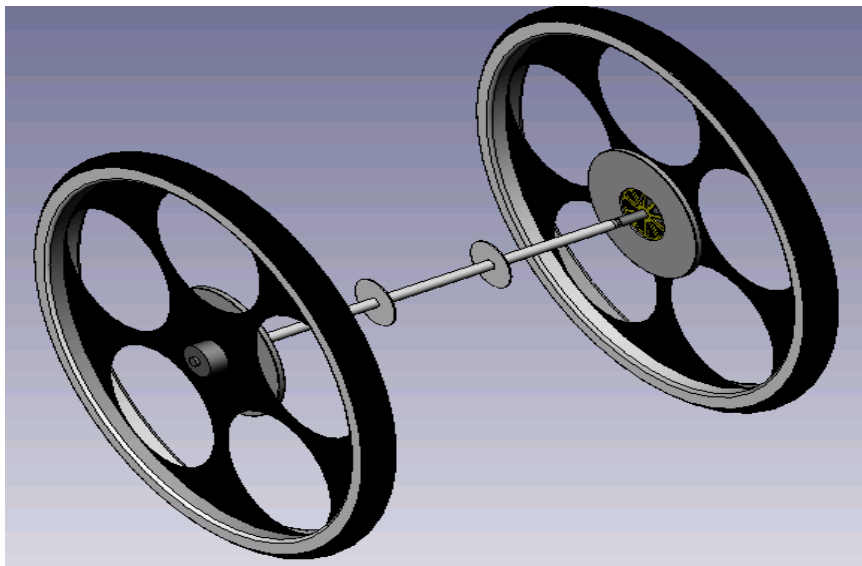
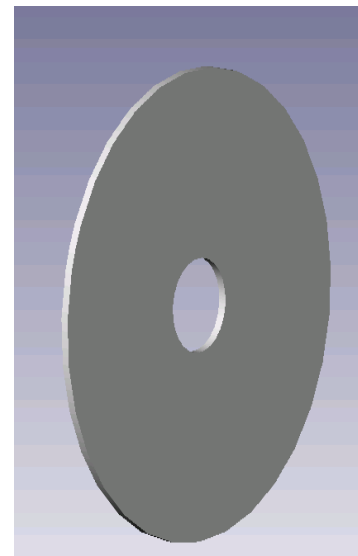


Figura 4.21. Ruedas traseras



Figura 4.22. Eje



4.23. Piñón

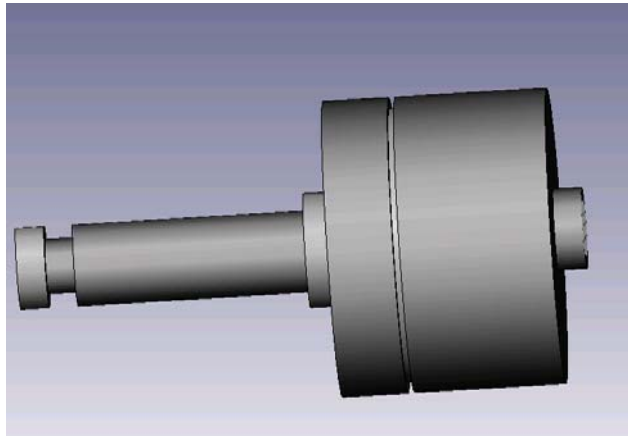


Figura 4.24. Buje trasero

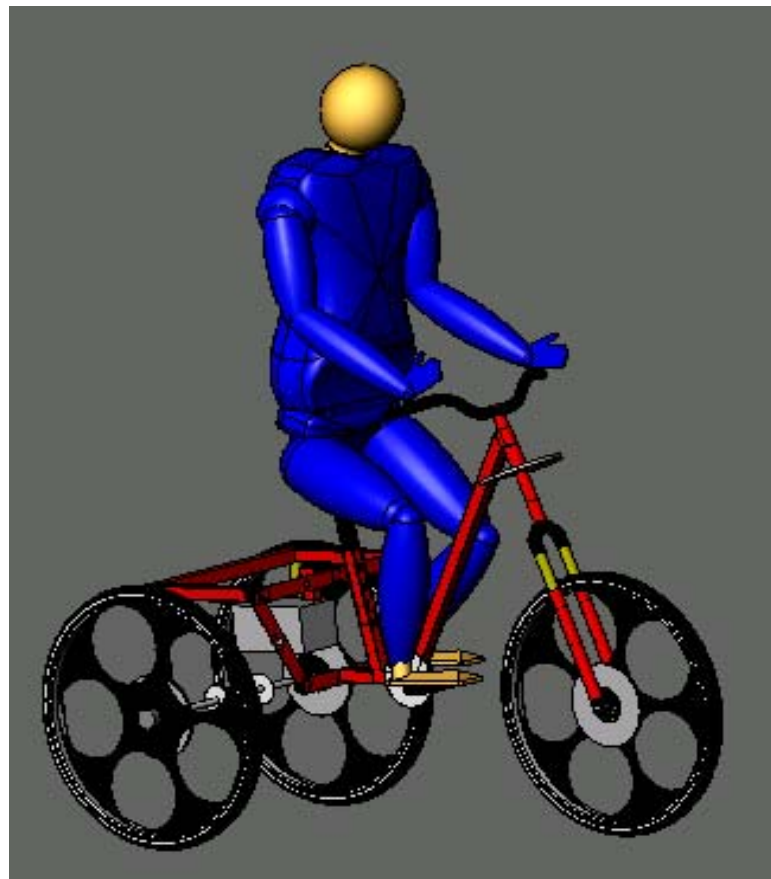


Figura 4.25. Triciclo completo

CAPÍTULO 5

SIMULACIONES

Para realizar las simulaciones con el modelo descrito en el capítulo anterior, se ha utilizado una aplicación del programa *Solid Works*, el *Cosmos Motion*, con el fin de analizar los efectos que provoca el piloto y la gravedad sobre los sistemas del triciclo.

Para poder obtener dichos efectos, se va a tener en consideración las fuerzas y momentos que se producen en condiciones reales, por lo que se detallarán estas fuerzas y efectos implicados con los que el programa *Cosmos Motion* va a trabajar.

5.1 – OBJETIVOS DE LAS SIMULACIONES

Con las simulaciones intentaremos demostrar que el diseño es válido para su utilización antes de fabricarlo. Para ello tendrá que cumplir ciertos requisitos de estabilidad y manejabilidad. Dichos requisitos se comprobarán con tres simulaciones distintas:

- **Vehículo en curva**
- **Cambio de dirección**
- **Suspensiones**

Antes de estudiar dichos efectos, haremos una descripción detallada de las juntas que entrevenen en la simulación.

5.2 – JUNTAS Y PARÁMETROS PARA LAS SIMULACIONES

Para realizar las simulaciones es necesario definir los tipos de juntas existentes entre los distintos ensamblajes y piezas que conforman el modelo completo del triciclo, así como el tipo de contacto entre las ruedas y la calzada y los parámetros de funcionamiento de las suspensiones delantera y trasera

Tipos de juntas:

- Juntas de Revolución

Tanto en la suspensión trasera izquierda como en la derecha tendremos sendas juntas de revolución con el eje trasero. (Véase *figura 5.1* y *figura 5.2*).

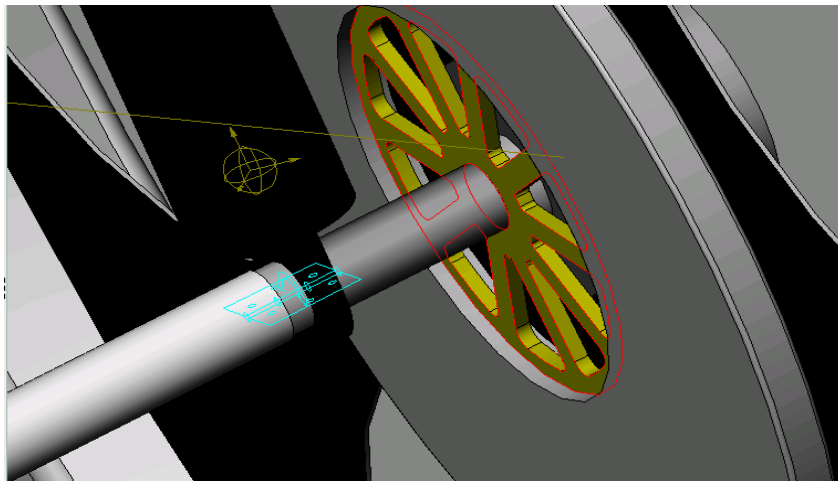


Figura 5.1. Junta de revolución rueda trasera derecha – suspensión

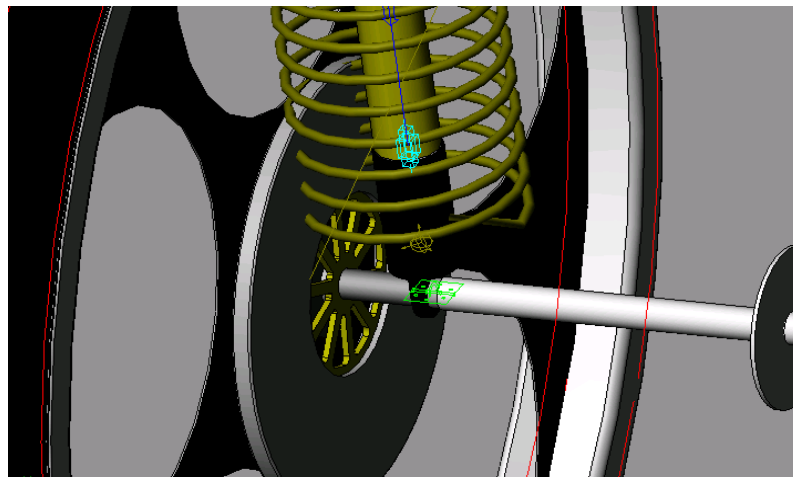


Figura 5.2 .Junta de revolución rueda trasera izquierda - suspensión

También tendremos juntas de revolución en cada uno de los vértices del cuadrilátero articulado.

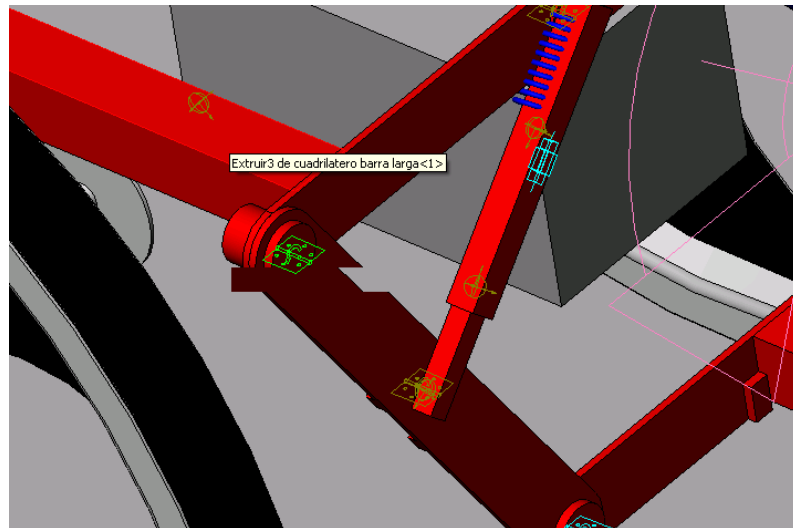


Figura 5.3. Junta de revolución chasis posterior – barra derecha

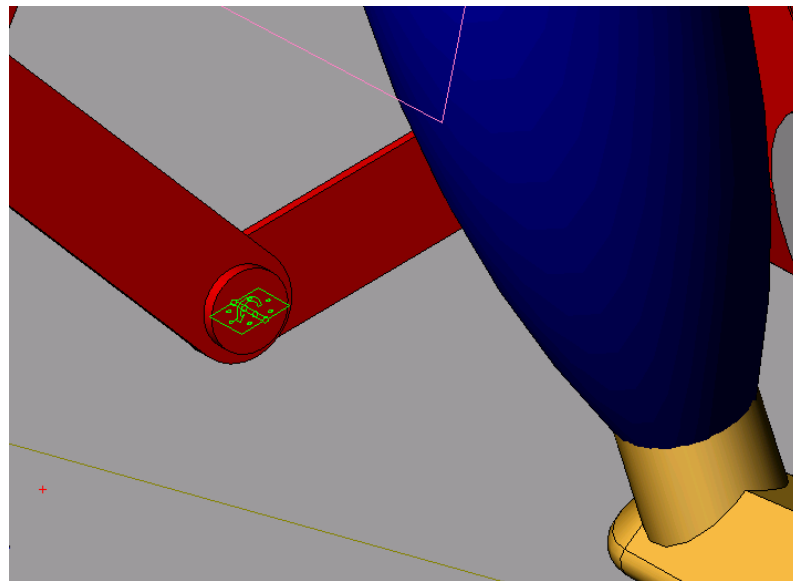


Figura 5.4. Junta de revolución barra derecha – barra inferior

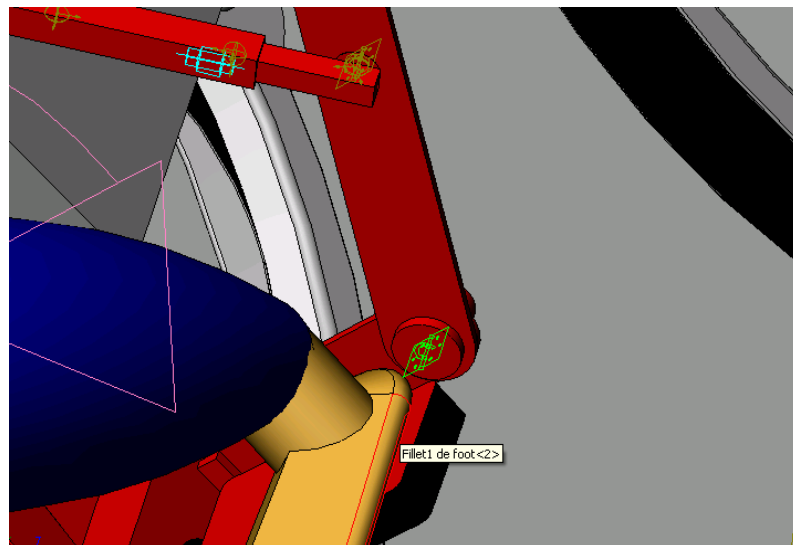


Figura 5.5. Junta de revolución barra inferior – barra izquierda

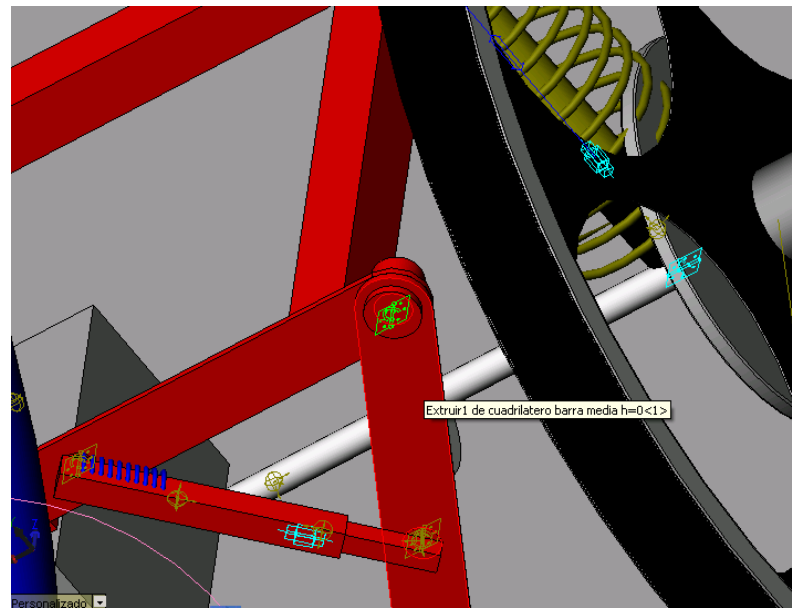


Figura 5.6. Junta de revolución chasis posterior – barra izquierda

Tendremos una junta de revolución en el eje de la rueda delantera con la suspensión anterior derecha y otra con la suspensión posterior izquierda, ya que las barras de la suspensión actúan de manera independiente.

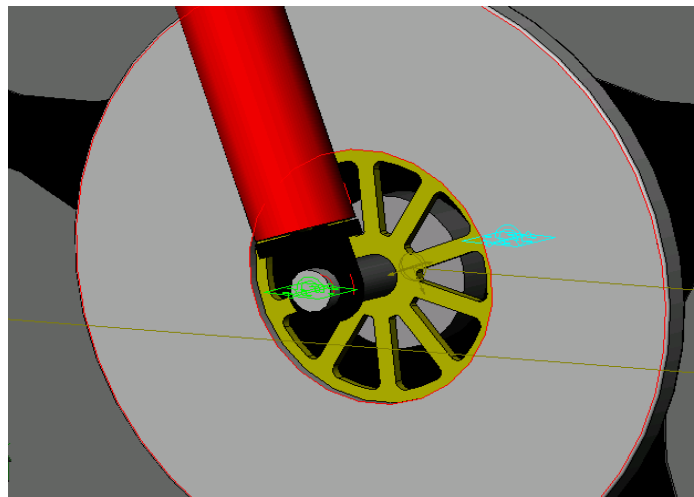


Figura 5.7. Junta de revolución rueda – suspensión derecha

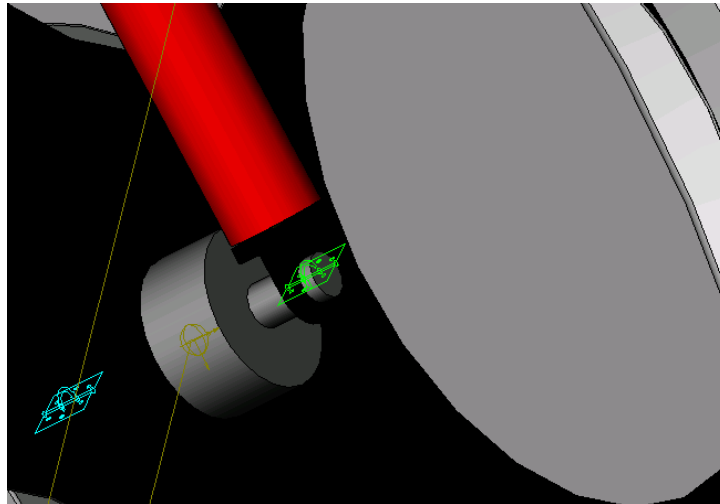


Figura 5.8. Junta de revolución rueda – suspensión izquierda

Dentro del cuadrilátero articulado se sitúan cuatro juntas más que relacionan los topes prismáticos con las barras del cuadrilátero.

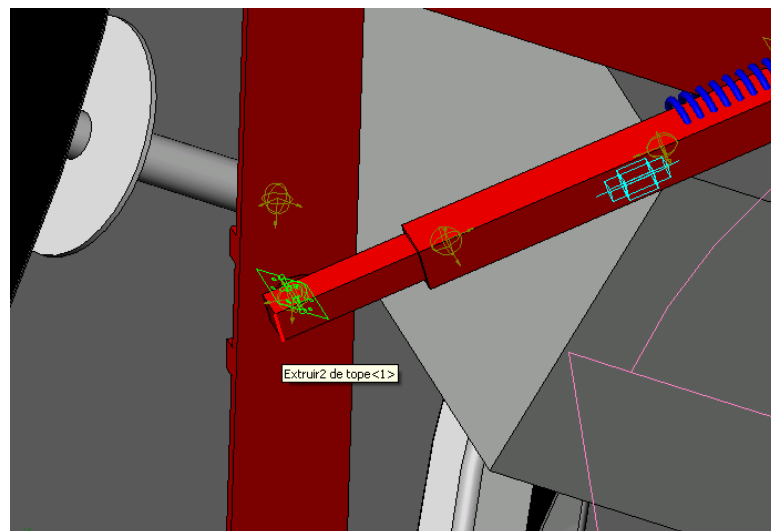


Figura 5.9. Junta de revolución tope derecho – barra derecha

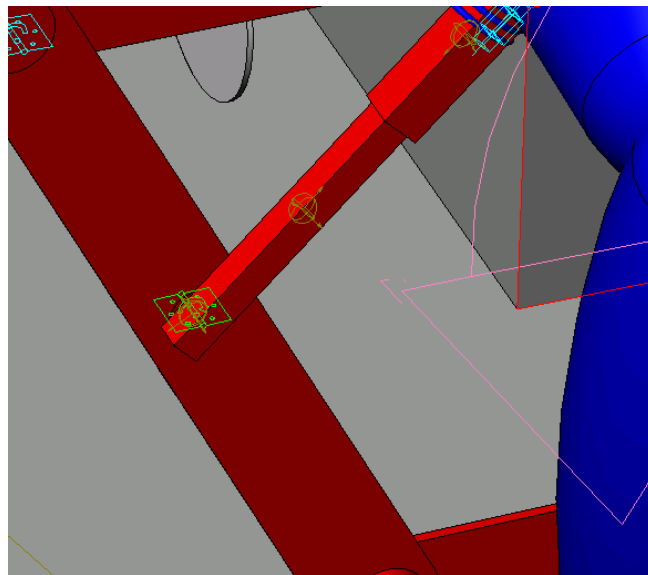


Figura 5.10. Junta de revolución tope izquierdo – barra izquierda

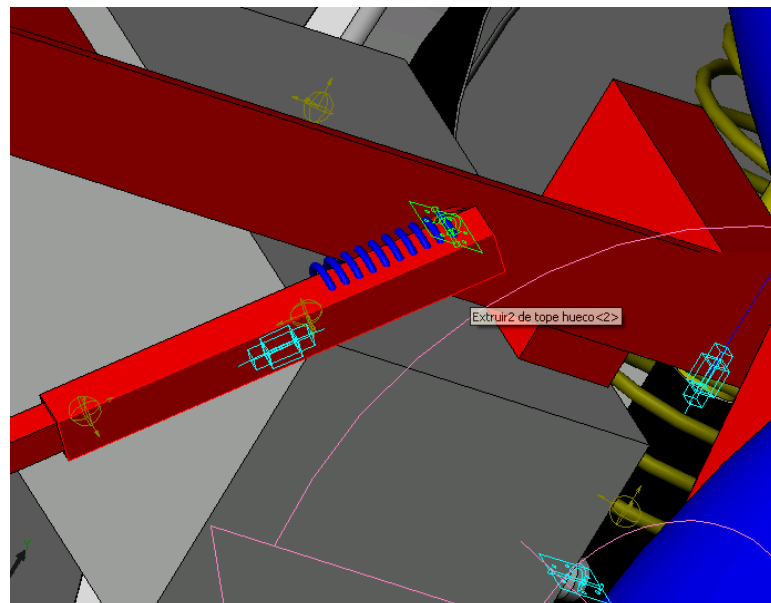


Figura 5.11. Junta de revolución tope izquierdo – barra superior

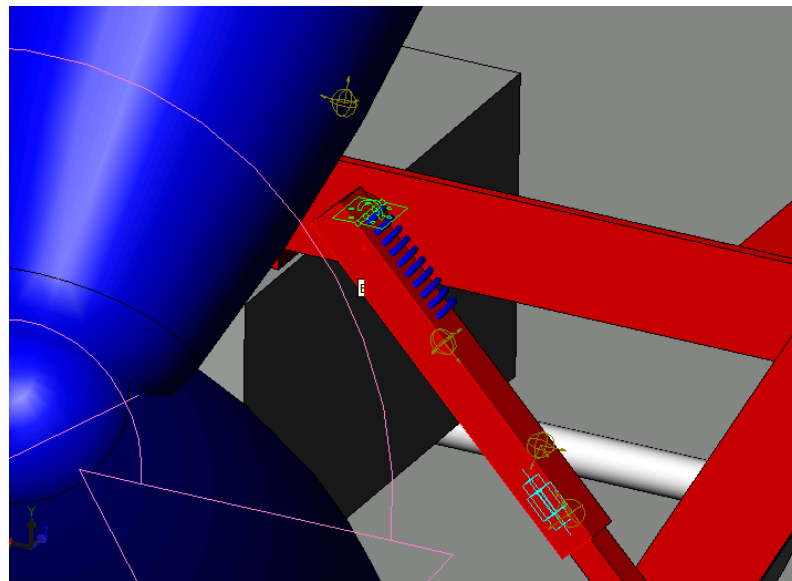


Figura 5.12. Junta de revolución tope derecho – barra superior

Por último tendremos junta de revolución entre la barra pipa de dirección y el manillar que permitirá orientar la rueda delantera desde el manillar.

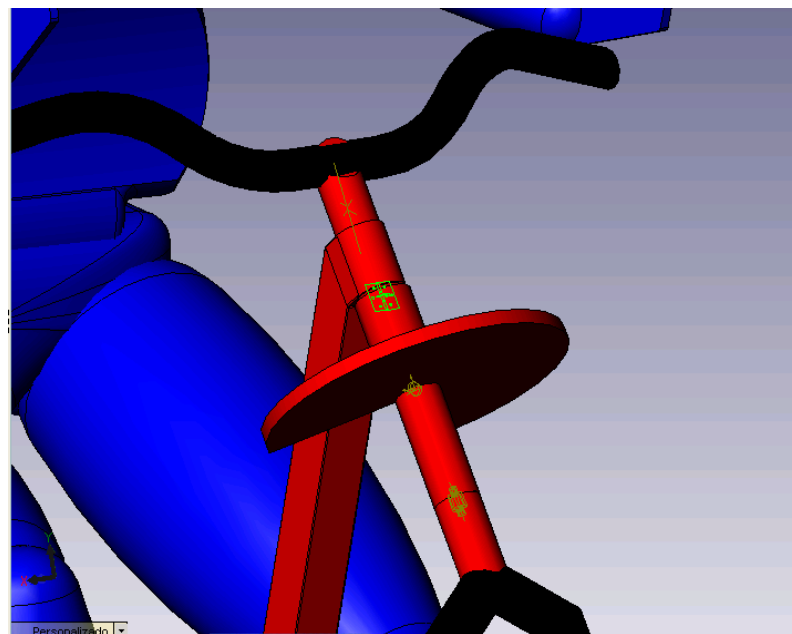


Figura 5.13 Junta de revolución dirección – manillar

- Juntas Traslacionales

En total va a haber seis juntas traslacionales: dos de ellas situada en la suspensión trasera, que estará formada por el vástago y el cuerpo del amortiguador (véase *figura 5.14* y *figura 5.15*), otras dos juntas están situadas en el tren delantero, formadas por las barras y las botellas de la horquilla de suspensión delantera (véase *figura 5.16* y *figura 5.17*) y las dos últimas se encuentran en el cuadrilátero articulado formada por las dos piezas prismáticas (véase *figura 5.18* y *figura 5.19*). Dichas piezas prismáticas se encargan de restituir la verticalidad del triciclo cuando este se inclina en las curvas. También actúan como tope físico evitando que el piloto caiga al suelo en mitad de la curva.

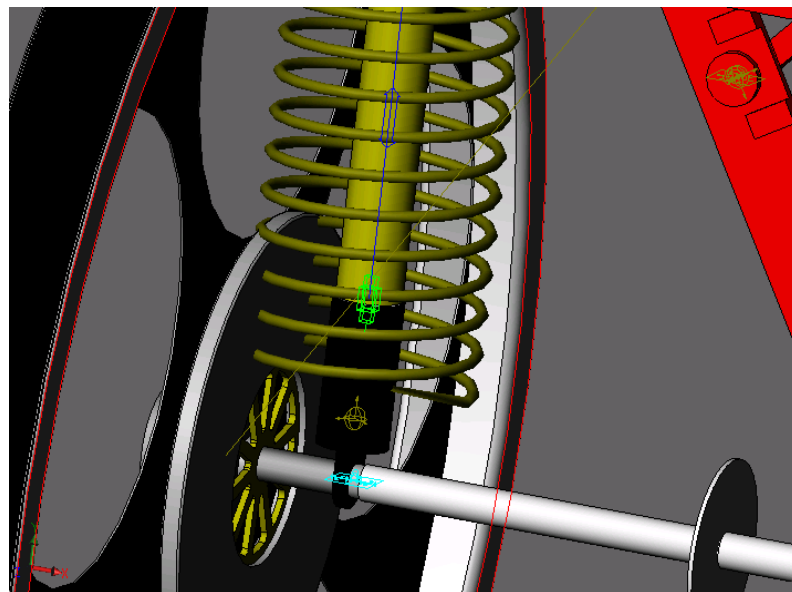


Figura 5.14. Junta traslacional vástago amortiguador izquierdo-cuerpo amortiguador

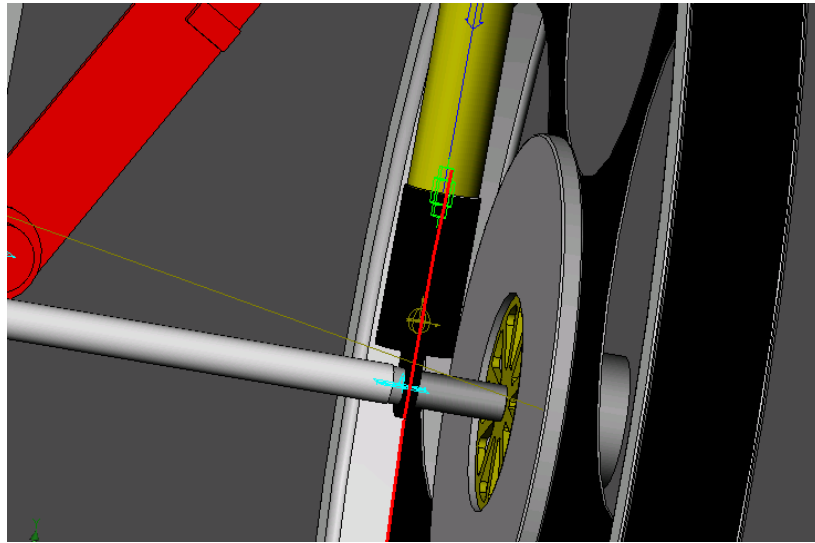


Figura 5.15. Junta traslacional vástago amortiguador derecho-cuerpo amortiguador

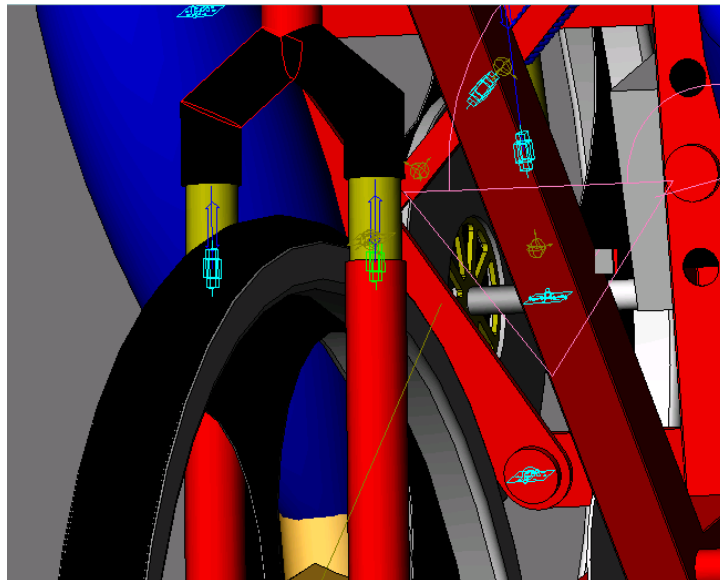


Figura 5.16. Junta traslacional botella horquilla izquierda - barra horquilla

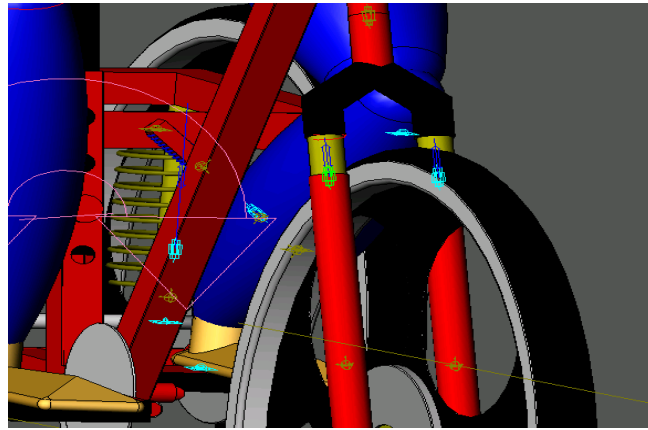


Figura 5.17. Junta traslacional botella horquilla derecha - barra horquilla

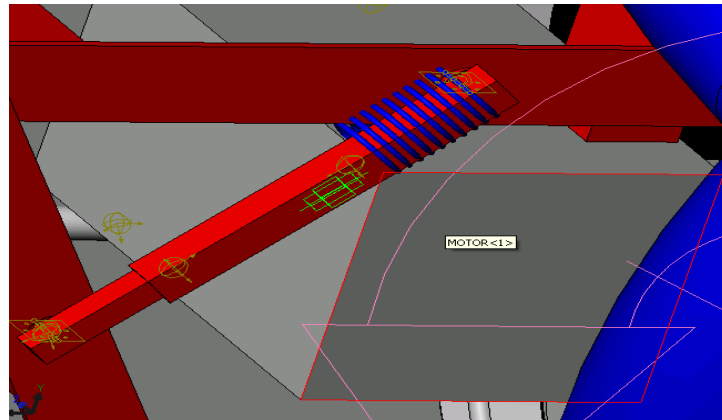


Figura 5.18. Junta traslacional tope izquierdo

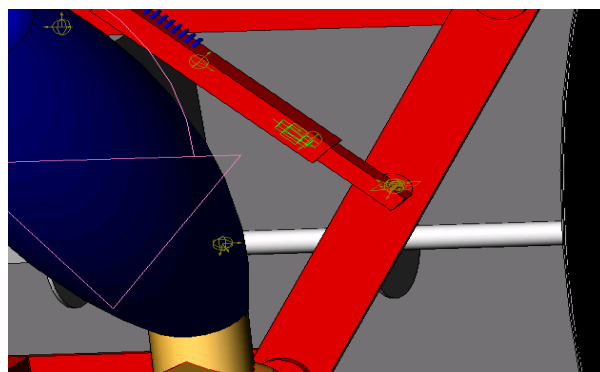


Figura 5.19. Junta traslacional tope derecho

En el siguiente cuadro se recogen todas las juntas y los elementos que relaciona:

<i>Tipo de junta</i>	<i>Elementos que relaciona</i>
Revolución	<i>rueda trasera derecha – suspensión</i>
Revolución	<i>rueda trasera izquierda - suspensión</i>
Revolución	<i>chasis posterior – barra derecha</i>
Revolución	<i>barra derecha – barra inferior</i>
Revolución	<i>barra inferior – barra izquierda</i>
Revolución	<i>chasis posterior – barra izquierda</i>
Revolución	<i>rueda – suspensión derecha</i>
Revolución	<i>rueda – suspensión izquierda</i>
Revolución	<i>tope izquierdo – barra izquierda</i>
Revolución	<i>tope derecho – barra derecha</i>
Revolución	<i>tope izquierdo – barra superior</i>
Revolución	<i>tope derecho – barra superior</i>
Traslacional	<i>vástago amortiguador izquierdo-cuerpo amortiguador</i>
Traslacional	<i>vástago amortiguador derecho-cuerpo amortiguador</i>
Traslacional	<i>botella horquilla izquierda - barra horquilla</i>
Traslacional	<i>botella horquilla derecha - barra horquilla</i>
Traslacional	<i>tope izquierdo</i>
Traslacional	<i>tope derecho</i>

Figura 5.20. Tabla de las juntas de unión entre elementos

Parámetros para todos los modelos:

Los muelles de las suspensiones se rigen por la ley de Hooke:

$$F = k \cdot x \quad [5.1]$$

Por su parte, los amortiguadores siguen la siguiente ley:

$$F = c \cdot v \quad [5.2]$$

Siendo c la constante de amortiguamiento y v la velocidad de relativa entre el cuerpo y el vástago del amortiguador.

Las constantes de funcionamiento de las suspensiones son:

	<i>Horquilla</i>	<i>Suspensión trasera</i>	<i>Topes prismáticos</i>
<i>Constante de rigidez del muelle (N/mm)</i>	600	1000	20
<i>Constante de amortiguamiento (N s/mm)</i>	1	1	-
<i>Precarga (N)</i>	20	20	40

Figura 5.21. Tabla de los parámetros de ajuste de las suspensiones

Para contacto entre la rueda y el suelo se ha seleccionado un contacto 3D, formado por las superficies de la rueda y el suelo. Las características de dicho contacto están controlada por los siguientes parámetros:

<i>Rigidez</i>	60
<i>Exponente</i>	3.5
<i>Máximo amortiguamiento</i>	10
<i>Penetración</i>	0.1

Figura 5.22. Tabla de las características del contacto neumático-suelo

	<i>Estática</i>	<i>Dinámica</i>
<i>Velocidad</i>	0.1	0.5
<i>Coefficiente</i>	1	1

Figura 5.23. Tabla de los coeficientes de rozamiento

5.3 – MANEJABILIDAD DEL MODELO

- Efecto giroscópico

El efecto giroscópico tiene lugar cuando la rueda, que sigue un movimiento rotacional alrededor de su propio eje con una velocidad angular ω , se le fuerza a girar también según otro eje, perpendicular al anterior, con una nueva velocidad angular Ω .

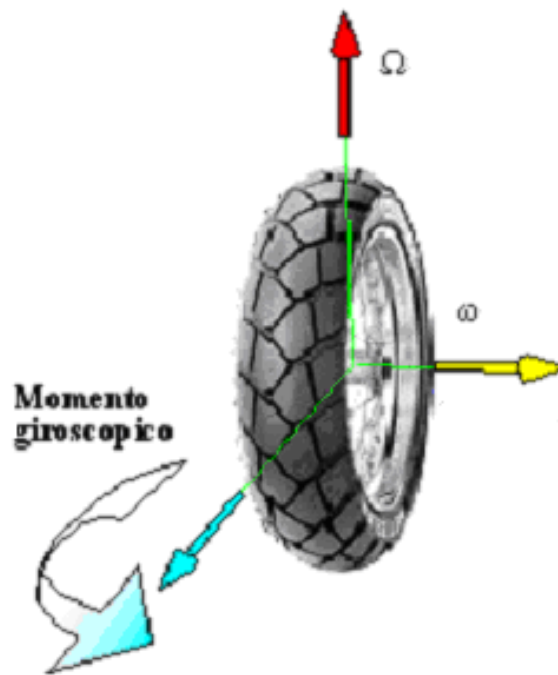


Figura 5.24. Momento giroscópico en la rueda

El efecto giroscópico se manifiesta como un momento que tiende a girar la rueda alrededor de un eje perpendicular a los otros dos.

El valor de este momento giroscópico será igual al producto del momento polar de inercia de la rueda por las velocidades angulares ω y Ω :

$$Mg = I_0 \cdot (\Omega \times \omega) \quad [5.3]$$

Nos vamos a centrar en el efecto giroscópico en la rueda delantera debido al esfuerzo en la dirección. Este momento giroscópico aparece cuando giramos la dirección para tomar una curva, provocando que el triciclo se incline.

Se ha explicado el efecto giroscópico como la aparición de un momento que tiende a volcar la rueda cuando se dan momentos de giro en los otros dos ejes. Este momento giroscópico será de dirección perpendicular a los otros dos momentos (ya que su vector director se forma con el producto vectorial de los otros dos momentos).

En este caso los dos momentos inductores son, el propio giro de la rueda, y el giro según el eje de la dirección que le damos mediante el manillar para tumbar el triciclo. El resultado es un momento de vuelco del triciclo que es el que nos ayuda a tumbar el triciclo para trazar la curva. Su dirección será perpendicular a los otros dos momentos.

El efecto giroscópico que se produce en el triciclo será apenas apreciable, ya que la velocidad angular ω es muy pequeña. Esto ocurre porque la velocidad lineal del triciclo es de tan sólo 1 m/s

5.4 – FUERZAS APLICADAS

El siguiente paso es la introducción de las fuerzas necesarias en cada modelo para la obtención de los efectos deseados.

A continuación se describen los parámetros introducidos en el programa para la realización de la simulación:

5.4.1 MODELO EN CURVA:

Se aplicó un par sobre la tija del manillar de la siguiente manera:

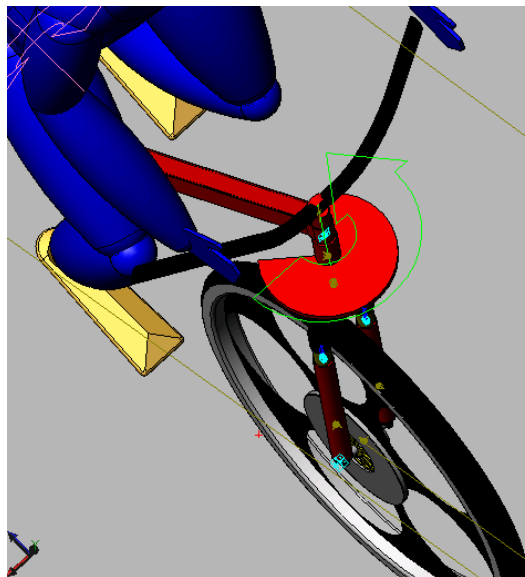


Figura 5.25. Momento aplicado sobre tija

La simulación tiene una duración de 4 segundos. El programa *Cosmos Motion* permite aplicar fuerzas y momentos variables en el tiempo.

Antes de comenzar la simulación hay que dotar a todos los ensamblajes y piezas del modelo con una velocidad inicial constante de 3,6 km/h y la aplicación de un par en el volante que va a variar a lo largo de la simulación.

El par máximo, aplicado en la pipa de dirección, llegará a tomar un valor de 22.000 Nmm, es decir 22 Nm.

Sin embargo el par mínimo que hay que aplicar para que empiece a girar es de tan sólo 18 Nm

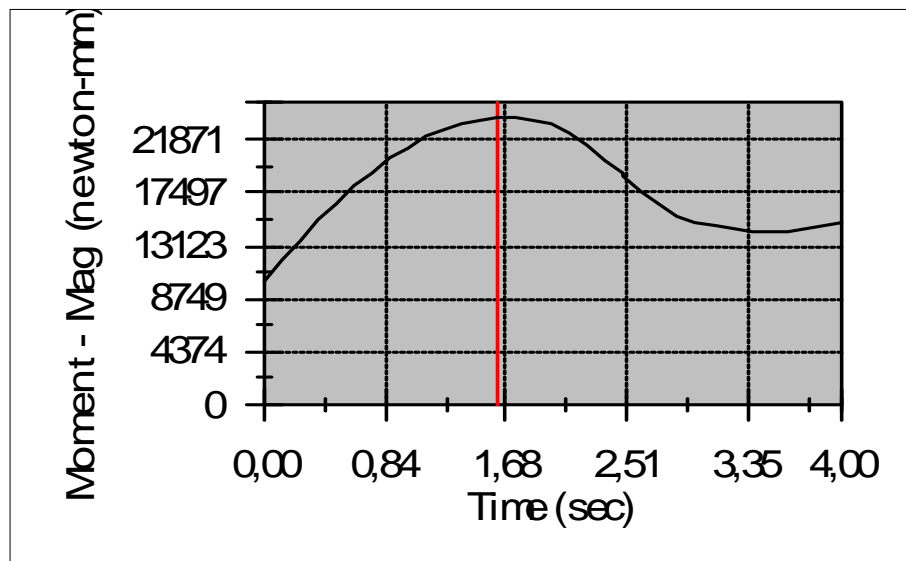


Figura 5.26. Gráfica de la curva de par aplicado en la dirección

Este par se ha obtenido de forma iterativa hasta dar con la función que permitiese mantener la dirección del triciclo con un ángulo de inclinación elevado durante un cierto tiempo.

5.4.2 MODELO CAMBIO DE DIRECCIÓN:

Se consigue aplicando dos momentos de signo contrario en la base del chasis, dichos momentos serán los responsables de que la parte anterior del triciclo bascule.

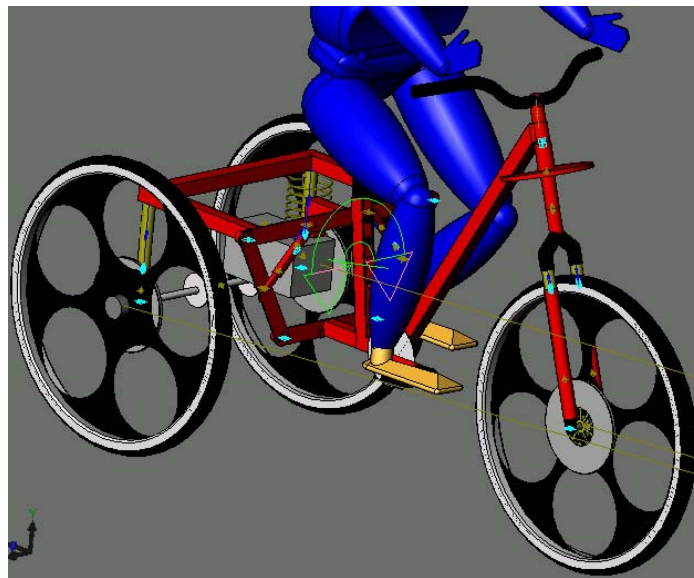


Figura 5.27. Momentos sobre el chasis

Para este modelo, las simulaciones tienen una duración de 7,75 segundos. Antes de comenzar la simulación hay que dotar a todos los ensamblajes y piezas del modelo con una velocidad inicial de 3,6 km/h., aplicando dos momentos variables sobre el chasis forzando su inclinación.

El par aplicado simulará el par ejercido por el piloto sobre el triciclo, que basculará a un lado y a otro cambiando de dirección.

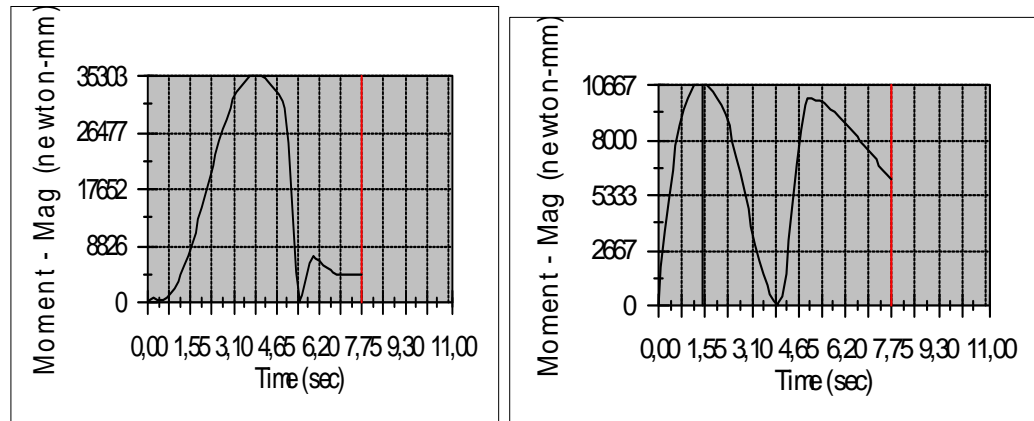


Figura 5.28. Gráficas de las curvas de par ejercidas sobre la base del chasis

Al igual que en el caso de la curva, este par se ha obtenido de forma iterativa hasta conseguir un par que permitiese inclinar el triciclo con un ángulo perceptible.

5.4.3 MODELO SUSPENSIÓN

Para comprobar la validez de las suspensiones y su correcto funcionamiento se hará pasar el triciclo por un resalto semiesférico realizado sobre el suelo de la simulación.

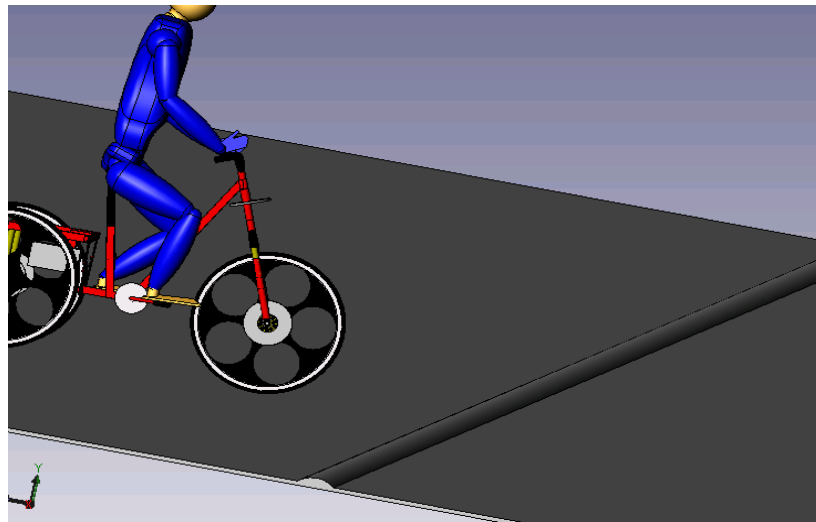


Figura 5.29. Simulación prueba suspensión

Como en las anteriores simulaciones antes de comenzar la simulación dotaremos a todos los ensamblajes y piezas del modelo con una velocidad de 3,6Km/h. El triciclo inicialmente no toca el suelo sino que se encuentra a una pequeña altura sobre él.

Tradicionalmente para diseñar correctamente la fuerza y la precarga de los muelles se estima que la suspensión se comprima entorno a un 10% - 15% cuando el triciclo toque el suelo, (piloto incluido).

La simulación dura 6.63 segundos obteniendo los siguientes resultados en los muelles de la suspensión:

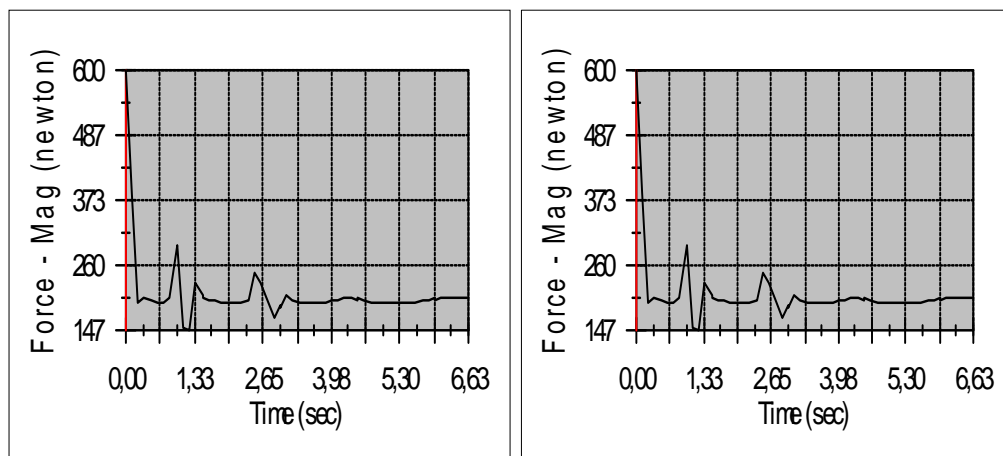


Figura 5.30. Reacción de los muelles delanteros durante simulación

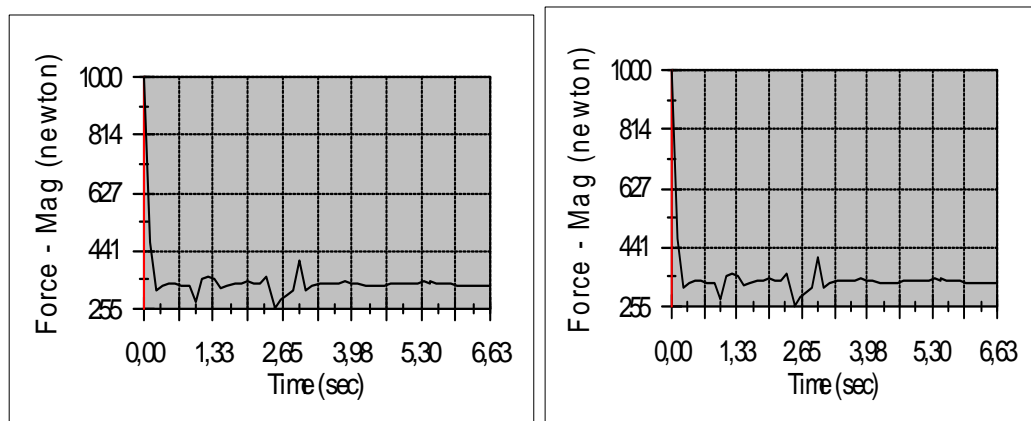


Figura 5.31. Reacción de los muelles traseros durante simulación

Ya que el triciclo entra perpendicularmente al obstáculo, las suspensiones entran en contacto con el mismo a la vez, luego las gráficas que se obtienen son muy similares dos a dos.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

6.1 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN CURVA

Como se puede comprobar en la simulación y en la gráfica, el manillar comienza a girar con un par de 18 Nm.

Ya que el objetivo de la simulación es demostrar que cualquier persona es capaz de manejar el triciclo, calcularemos la fuerza que debe realizar el piloto en el manillar para vencer dicho par.

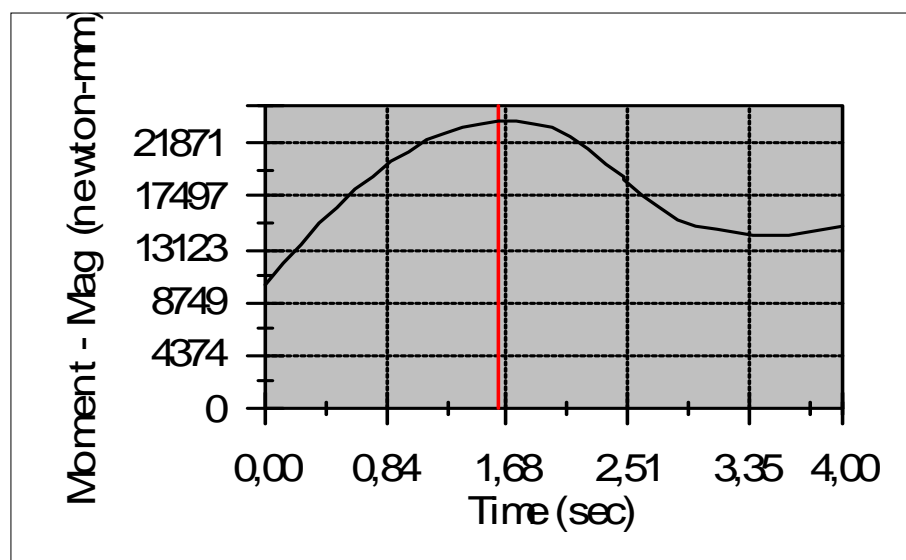


Figura 6.1. Gráfica del desplazamiento de la suspensión trasera

$$F_{Manillar} = M_{Tija} / L_{Mnillar} = 18 / 0,5 = 36 \text{ N} \quad [6.1]$$

Como el manillar mide 0,5m sería necesario un par 36N en el manillar, dicho par aunque algo elevado puede ser ejercido por cualquier piloto.

Por tanto la dirección del triciclo cumple la premisa de manejabilidad, cumpliendo el objetivo de la simulación.

6.2 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CAMBIO DE DIRECCIÓN

Los objetivos fundamentales de esta simulación son demostrar que el triciclo es manejable a la vez que seguro.

Para comprobar que esto se cumple lanzaremos el triciclo contra dos bolardos a los que deberá de esquivar sin caerse.

La agilidad del triciclo se refleja en las simulaciones como el esfuerzo que debe ejercer el piloto sobre el triciclo para que este bascule. Este esfuerzo se traduce en un par aplicado en la base del chasis. Puesto que disponemos de dos pares de fuerzas, (uno para tumbar a la izquierda y otro para tumbar a la derecha), tendremos dos gráficas distintas.

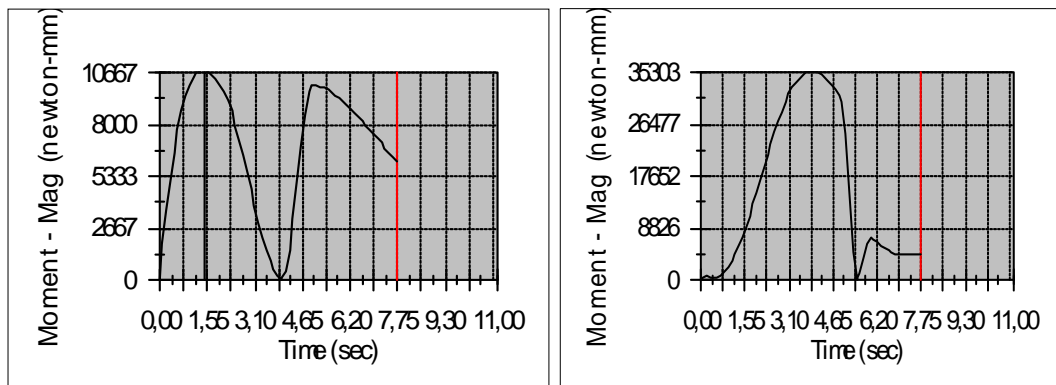


Figura 6.2. Gráficas de las curvas de par ejercidas sobre la base del chasis.

En las gráficas se distinguen dos pares de fuerzas de diferente valor, en la gráfica de la izquierda encontramos el par que es necesario para empezar a tumbar la parte anterior del triciclo.

En la gráfica de la derecha encontramos el par que es necesario para realizar un cambio de dirección. Como se puede comprobar es tres veces superior al primero, esto es porque tiene que contrarrestar el par ejercido anteriormente en un corto espacio de tiempo.

Si multiplicamos los pares de las gráficas por la distancia donde la fuerza es aplicada, (en el centro de gravedad del piloto que se encuentra a un metro de distancia), obtendremos que el piloto tiene que ejercer una fuerza transversal de 10,6 N para empezar a inclinar el triciclo, y de 35,3 N para cambiar de dirección que es fácilmente aplicable con una ligera inclinación del tronco del piloto.

Para comprobar la seguridad del triciclo nos centraremos ahora en los topes situados en el cuadrilátero articulado.

Dichos topes son los encargados de restituir la verticalidad del triciclo y de evitar caídas por una excesiva inclinación. Por este motivo los topes restringen el ángulo de balanceo a 20° desde la vertical.

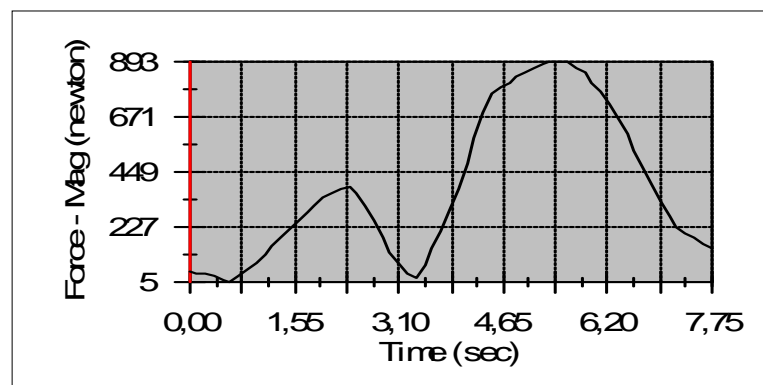


Figura 6.3. Gráfica de la reacción ejercida por el tope izquierdo

Como se puede ver en la simulación los topes, que llegan a ejercer una fuerza transversal de 90 kg, evitan que el piloto vuelque el triciclo mientras se produce el brusco cambio de dirección.

La fuerza y la precarga de los muelles que se han utilizado para los topes, debido a la falta de datos sobre elementos similares, se han hallado mediante una larga serie de iteraciones.

6.3 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LAS SUSPENSIONES

El objetivo primordial de esta simulación, y en general de cualquier suspensión, es absorber las irregularidades del suelo cumpliendo una doble función, aportar confort y seguridad.

Para comprobar que las suspensiones funcionan correctamente compararemos el desplazamiento vertical del centro de gravedad del triciclo con la altura del obstáculo.

La altura máxima del obstáculo es de 31 mm. Para que las suspensiones realicen correctamente su trabajo de amortiguamiento el desplazamiento vertical del centro de masas del triciclo ha de ser menor.

Al igual que en las simulaciones anteriores el triciclo se encuentra con el obstáculo a una velocidad de 3,6 km/h.

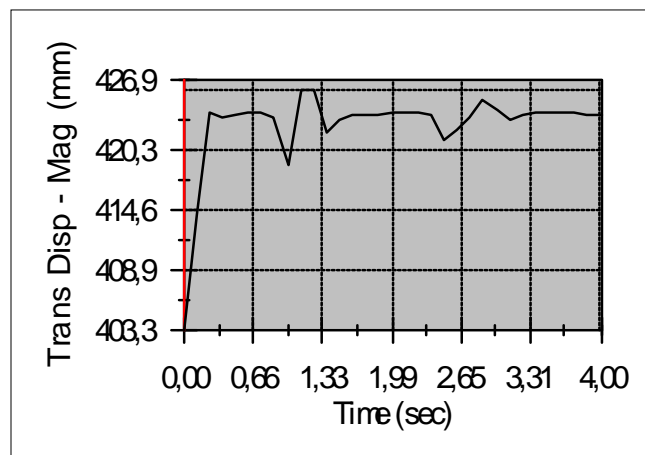


Figura 6.4. Gráfica de desplazamiento del amortiguador delantero derecho

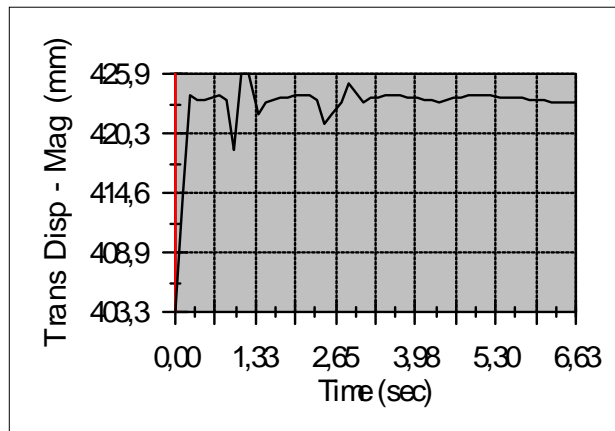


Figura 6.5. Gráfica de desplazamiento del amortiguador delantero izquierdo

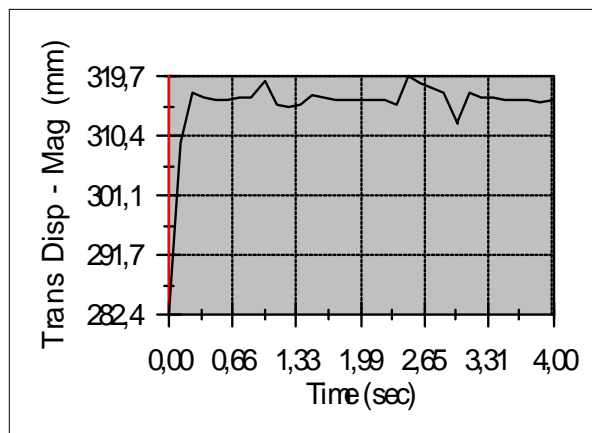


Figura 6.6. Gráfica de desplazamiento del amortiguador trasero derecho

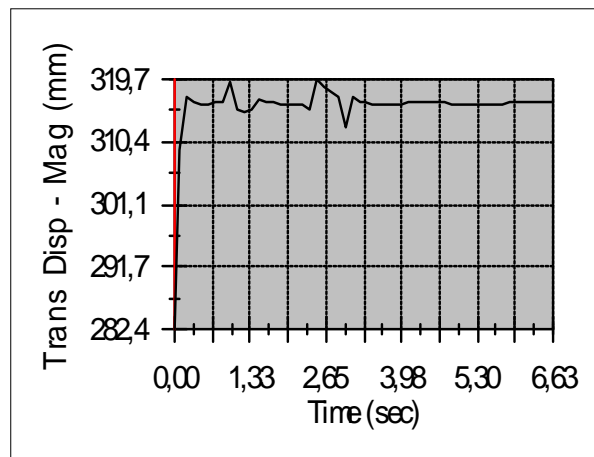


Figura 6.7. Gráfica de desplazamiento del amortiguador trasero izquierdo

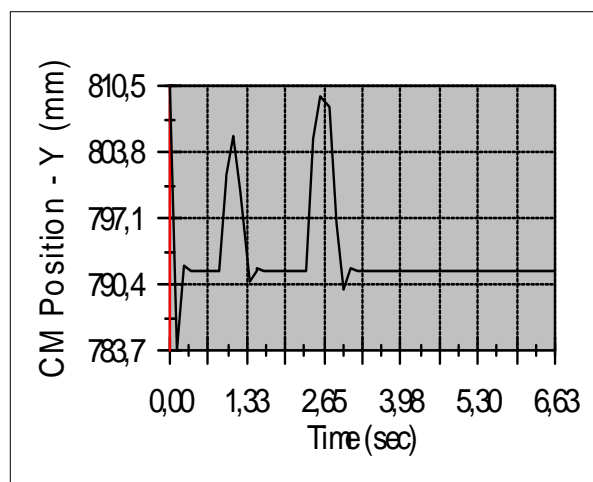


Figura 6.8. Gráfica de desplazamiento del centro de gravedad

A primera vista se distinguen dos picos pronunciados en todas las gráficas. El primer pico está provocado por el paso de la rueda delantera sobre el obstáculo, el segundo, esta provocado por el paso de las ruedas traseras sobre el obstáculo.

En las gráficas de los amortiguadores observamos como el desplazamiento vertical es rápidamente amortiguado. Puesto que el amortiguamiento se produce en menos de 0,5 segundos podemos considerar la constante de amortiguamiento como válida.

Por último observando la gráfica de desplazamiento vertical del centro de masas comprobamos que la mayor oscilación que se produce es de tan sólo 17 mm. Puesto que esta oscilación es mucho menor que la altura del obstáculo podemos concluir que las suspensiones realizan su trabajo correctamente.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

7.1 - CONCLUSIONES

Como demuestran las simulaciones, el triciclo es un vehículo manejable, seguro y ágil capaz de ser usado en todo tipo de terrenos por cualquier persona. El modelo cumple las expectativas impuestas por la productora y además resulta ser un vehículo versátil, apto para el recreo como para el transporte de mercancías.

Debido a su constitución es un medio de locomoción ideal para las grandes ciudades. A su vez resulta ser un transporte ecológico, (se recomienda el uso de un motor eléctrico para su propulsión), y muy económico.

7.2 – DESARROLLOS FUTUROS

Puesto que este es el primer proyecto que se realiza sobre el triciclo, las posibilidades de realizar futuros trabajos sobre él es enorme.

Por ejemplo desarrollar una transmisión que sea capaz de soportar el esfuerzo generado por el piloto y por el motor.

Sería de gran interés hacer un estudio completo de las fuerzas que debe ejercer el piloto sobre manillar, sillín y pedales al inclinar el triciclo para conseguir un mejor diseño de los topes situados en el cuadrilátero.

También se podría realizar una optimización del chasis para que sea más liviano o robusto según se necesite.

Sería de gran interés hacer un estudio del comportamiento de los tres neumáticos a la hora de entrar/salir de una curva y modificar las propiedades y diseño de los neumáticos si fuese necesario.

CAPÍTULO 8

PRESUPUESTO

Responsable: Miguel garcía Flores

Cliente: Productora Cine

Dirección:

Telf.

Fax cliente:

Nº Presupuesto: XXXXXXXX

F Presupuesto: 29-09-09

F Aprobación:

Observaciones:

F de Pago:

Universidad Carlos I I I

Avda. de la Universidad, 30

28911 Madrid

Telf. 91 6249951

Fax: xx xxx xx xx

E-mail: 100044806@alumnos.uc3m.es

TRABAJO REALIZADO	HORAS TRABAJADAS	PRECIO HORA EUR.	IMPORTE EUR.
ESTUDIOS PREVIOS MODELADO DE LAS PIEZAS EN <i>SOLID</i> <i>WORKS</i>	10	50	500
	100	50	5000
SIMULACIÓN DEL MODELO	100	50	5000
MONTAJE DEL TRICICLO	5	50	250
TOTAL			10750

PIEZAS TRICICLO	MARCA	REF	PRECIO (EUR.)	UDS.	IMPORTE (EUR.)
NEUMÁTICO	Kenda KINIPTION				
LLANTA	DIRT JUMP	BMX 60TPI	15,99	x3	47,79
	Shimano	WH-M505	84,99	x3	254,97
AMORTIGUADOR DELANTERO	Suntour duro	FR20	164,99	x1	164,99
AMORTIGUADOR TRASERO	Suntour EPICON 2009	RS9-EPICON-LOD	99,99	x1	99,99
SILLÍN	Selle Italia	SLR XC	79,99	x1	79,99
MANILLAR	MANILLAR BRIO D51	REF.1274	116	x1	116
PEDALES	VP	VP-567	6,99	x2	13,98
MOTOR ELÉCTRICO	Aelegir or fabricante			x1	
TIJA	Ritchey potencia	Comp Os 31.8	24,99	x1	24,99
CADENA	KMC	BXZ51S16	6,99	x1	6,99
DESVIADOR	Shimano HONE XT/XTR Compatible	FDM601M6	12,99	x1	12,99
CAMBIO	Shimano Alivio Moderno	RD M410	9,99	x1	9,99
PIÑONES	Shimano MEGA RANGE 34T	CSHG4081132PA	12,99	X1	12,99
PASTILLAS DE FRENO	Braking	761sm1	24,99	X3	74,97
DISCOS DE FRENO	AP	11FID	49,99	X3	149,97
CABLE CAMBIO	Shimano	XTR	3,99	X1	3,99
TOTAL (EUR.)					1074,59

Descuento en piezas proveedores: 40% 429,83

Total Portes: 100,00

Total Neto: 11.494,76

16,0 % I.V.A. 1839,16

Total Presupuesto: 13333,92

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Decker, K. H. “*Elementos de máquinas*”. Editorial Urmo, 1979.
- [2] Aguirre, G. “*Diseño de elementos de máquinas*”. Editorial Trillas, 1990.
- [3] Pacejka, H. B. “*Tyre and vehicle dynamics*”. Editorial Elsevier, 2006.
- [4] “*Técnicas de conducción*”. Editorial Motorpress-Ibérica.
- [5] García Prada, J.C. – Rubio Alonso, H. “*Prácticas de laboratorio de teoría de máquinas y mecanismos*”. Editorial Copy Red S. A. , 2005

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Triciclo.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2.1. Gilera Fuoco 500 i.e.</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.2. Can - am spyder delante.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.3. Can - am spyder detrás.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.4. Volkswagen GX3.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.5. Carver ONE delante.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.6. Carver ONE detrás.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3.1. Bastidor.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.2. Chasis del triciclo.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3.3. Cuadrilátero articulado.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.4. Mecanismo doble manivela.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3.5. Mecanismo biela- balancín</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3.6. Mecanismo doble balancín.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3.7. Paralelogramo articulado.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3.8. Neumático Kenda Kintion Dirt Jump.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3.9. llantas shimano WH-M505.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3.10. Horquilla Suntou Duro FR20</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.11. Amortiguador Epicon RS.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.12. Disco de freno AP11FID</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.13. Pastillas de freno Braking 761sm1.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.14. cadena KMC z51s.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.15. Cambio Shimano RD M410 Alivio moderno.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.16. Desviador Shimano FDM601M6 Reford.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.17. Juego de platos Shimano FCM-532.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.18. Shimano CSHG 4081132PA.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.19. Manillar BRIO D51.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.20. Selle Italia SLR XC.</i>	<i>24</i>

<i>Figura 3.21. pedales VP-567..</i>	25
<i>Figura 4.1 Triciclo articulado.</i>	26
<i>Figura 4.2. Subensamblaje rueda freno.</i>	27
<i>Figura 4.3. Llanta</i>	28
<i>Figura 4.4. Neumático.</i>	28
<i>Figura 4.5. Disco de freno.</i>	28
<i>Figura 4.6. Buje delantero.</i>	28
<i>Figura 4.7. Subensamblaje zona anterior.</i>	29
<i>Figura 4.8. Horquilla sup.</i>	30
<i>Figura 4.9. Barra manillar.</i>	30
<i>Figura 4.10. Manillar.</i>	30
<i>Figura 4.11. Subensamblaje zona intermedia.</i>	31
<i>Figura 4.12. Sillín</i>	31
<i>Figura 4.13. Tornillo Sillín.</i>	31
<i>Figura 4.14. Chasis.</i>	32
<i>Figura 4.15. Soporte manillar.</i>	32
<i>Figura 4.16. Soporte sillín.</i>	32
<i>Figura 4.17. Zona posterior del chasis+ cuadrilátero articulado.</i>	33
<i>Figura 4.18. Vista de la zona posterior del chasis.</i>	34
<i>Figura 4.19. Tornillo unión</i>	34
<i>Figura 4.20. Barra de cuadrilátero articulado.</i>	34
<i>Figura 4.21. Ruedas traseras.</i>	35
<i>Figura 4.22. Eje.</i>	35
<i>Figura 4.23. Piñón.</i>	35
<i>Figura 4.24. Buje trasero.</i>	36
<i>Figura 5.1. Junta de revolución rueda trasera derecha – suspensión</i>	38
<i>Figura 5.2. junta de revolución rueda trasera izquierda - suspensión</i>	39
<i>Figura 5.3. Junta de revolución chasis posterior – barra derecha.</i>	39
<i>Figura 5.4. Junta de revolución barra derecha – barra inferior.</i>	40
<i>Figura 5.5. Junta de revolución barra inferior – barra izquierda.</i>	40
<i>Figura 5.6. Junta de revolución chasis posterior – barra izquierda.</i>	41

<i>Figura 5.7. Junta de revolución rueda – suspensión derecha.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.8. Junta de revolución rueda – suspensión izquierda.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.9. Junta de revolución tope derecho – barra derecha.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.10. Junta de revolución tope izquierdo – barra izquierda</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.11. Junta de revolución tope izquierdo – barra superior.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.12. Junta de revolución tope derecho – barra superior.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.13 Junta de revolución dirección – manillar.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.14. Junta traslacional vástago amortiguador izquierdo-cuerpo amortiguador.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.15. Junta traslacional vástago amortiguador derecho-cuerpo amortiguador.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.16. Junta traslacional botella horquilla izquierda - barra horquilla..</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.17. Junta traslacional botella horquilla derecha - barra horquilla. .</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.18. Junta traslacional tope izquierdo.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.19. Junta traslacional tope derecho.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.20. Tabla de las juntas de unión entre elementos</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5.21. Tabla de los parámetros de ajuste de las suspensiones</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.22. Tabla de las características del contacto neumático-suelo.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.23. Tabla de los coeficientes de rozamiento</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.24. Momento giroscópico en la rueda.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5.25. Momento aplicado sobre tija.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.26. Gráfica de la curva de par aplicado en la dirección</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.27. Momentos sobre el chasis.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5.28. Gráficas de las curvas de par sobre la base del chasis.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5.29. Simulación prueba suspensión.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5.30. Reacción de los muelles delanteros durante simulación.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5.31. Reacción de los muelles traseros durante simulación.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 6.1. Gráfica del desplazamiento de la suspensión trasera.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 6.2. Gráficas de las curvas de par ejercidas sobre la base del chasis .</i>	<i>61</i>
<i>Figura 6.3. Gráfica de la reacción ejercida por el tope izquierdo.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 6.4. Gráfica de desplazamiento del amortiguador delantero derecho. .</i>	<i>63</i>

<i>Figura 6.5. Gráfica de desplazamiento del amortiguador delantero izquierdo.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 6.6. . Gráfica de desplazamiento del amortiguador trasero derecho. . .</i>	<i>64</i>
<i>Figura 6.7. Gráfica d desplazamiento del e amortiguador trasero izquierdo. . .</i>	<i>65</i>
<i>Figura 6.8. Gráfica de desplazamiento del centro de gravedad.</i>	<i>65</i>

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 - Introducción.	1
1.2 - Objetivos.	3
1.3 - Estructura del Proyecto	4
Capítulo 2. OTROS VEHÍCULOS DE TRES RUEDAS.	5
Capítulo 3. EL TRICICLO.	9
3. - El bastidor.	9
3.1 - El chasis.	10
3.4.1 - Breve descripción de los mecanismos de cuatro barras.	11
3.2 - Ruedas.	14
3.3 - Las suspensiones.	15
3.4 - Los frenos.	18
3.5 - La transmisión.	20
3.5.1 - El cambio de marchas.	21
3.6 - Elementos accesorios.	24
Capítulo 4. MODELADO	26
4.1 - Modelado del triciclo.	26
Capítulo 5. SIMULACIONES	37
5.1 – Objetivos de las simulaciones	37
5.2 – Juntas y parámetros para las simulaciones.	38
5.3 – Manejabilidad del modelo.	50
5.4 - Fuerzas aplicadas.	53
5.4.1 - Modelo en curva.	53
5.4.2 - Modelo cambio de dirección.	54
5.4.3 - Modelo suspensión.	57

Capítulo 6. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.	59
6.1 - Resultados de la simulación en curva.	59
6.2 - Resultados de la simulación cambio de dirección.	60
6.3 - Resultados de las suspensiones.	63
 Capítulo 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS	 67
7.1 - Conclusiones.	67
7.2 - Desarrollos futuros.	67
 Capítulo 8. PRESUPUESTO	 69
 Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA.	 71